



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ
2022
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ-КОНКУРС
СТУДЕНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ



Организация
Объединенных Наций по
вопросам образования,
науки и культуры



Международный
центр компетенций
в горнотехническом образовании
под эгидой ЮНЕСКО

ХVIII МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ-КОНКУРС
СТУДЕНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Том 1

15-21
МАЯ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2022



СИБУР



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

ХVIII МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ-КОНКУРС
СТУДЕНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

15-21 мая 2022 г.

Том 1

Тезисы докладов

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2022

УДК 621.7+622+ 004.9+504.7+331.45

ББК 33.2:33.3:33.4:33н6:33-4-06

А 437

В сборнике представлены тезисы докладов участников XVIII Международного форума-конкурса студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования». Материалы Форума посвящены: инновационным технологиям в сфере месторождений углеводородов, строительства скважин и трубопроводного транспорта, химической технологии природных энергоносителей, углеродных материалов и неорганических веществ, технологическим процессам и оборудованию обогащения руд полезных ископаемых, металлургии, поиску и разведке месторождений и технологиям добычи твердых полезных ископаемых, промышленной безопасности, геомеханике и маркшейдерии, геодезии, геоинформатике, землеустройству и кадастрам, минералогии, петрографии, гидрогеологии и инженерной геологии, инновационным методам поисков и разведки нефтяных и газовых месторождений, экономике устойчивого развития, информационно-телекоммуникационным технологиям и цифровой трансформации, перспективам развития горного машиностроения, энергоэффективности производства в минерально-сырьевом комплексе, устойчивому развитию регионов и экологической безопасности, вопросам утилизации отходов, очистки воды, восстановления нарушенных земель, а также актуальным проблемам и противоречиям развития современного общества и современным тенденциям архитектурно-градостроительной деятельности. Материалы сборника представляют интерес для широкого круга молодых ученых, профессорско-преподавательского состава вузов, специалистов, работающих в данной области.

The proceedings contain the abstracts of the participants of the XVIII International Forum-Contest of students and young researchers on Topical Issues of Rational Use of Natural Resources. The proceedings of the Forum-Contest discuss the following topics: innovative technologies in the field of hydrocarbon deposits, well construction and pipeline transport, chemical technology of natural energy carriers, carbon materials and inorganic substances, technological processes and equipment of mineral ore processing, metallurgy, prospecting and exploration of deposits and technologies of solid minerals mining, industrial safety, geomechanics and surveying, geodesy, geographic information science, land management and cadastre, mineralogy, petrography, engineering geology, innovative methods of oil and gas field prospecting and exploration, sustainable development economy, IT technologies and digital transformation, development prospects of mining engineering, energy efficiency in the mineral sector, sustainable regional development and environmental safety, waste management, water treatment, land rehabilitation, as well as current problems and contradictions of modern society and modern trends in architectural and urban planning.

The proceedings are of interest to a wide range of young researchers, university professors and engineers working in this field.

Редакционная коллегия: проф. В.С. Литвиненко (председатель), проф. М.В. Двойников, проф. А.М. Щипачев, проф. Н.К. Кондрашева, проф. О.В. Черемисина, проф. Т.Н. Александрова, проф. О.И. Казанин, проф. А.Е. Череповицын, проф. О.М. Прищепа, проф. В.А. Шпенст, проф. М.А. Пашкевич, проф. А.С. Егоров, проф. В.В. Максаров, доц. П.А. Деменков, доц. И.В. Третенков, доц. М.Г. Мустафин, доц. Д.Л. Устюгов, доц. А.В. Козлов, доц. Д.С. Тананыхин, доц. П.А. Петров, доц. Н.А.Вахнин, доц. И.В. Поцешковская, ст. преп. А.С. Данилов.

ISBN 978-5-94211-964-5

ISBN 978-5-94211-965-2 (Том 1)

© Санкт-Петербургский горный университет, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Секция 1. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ.....</i>	<i>4</i>
<i>Секция 2. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА СКВАЖИН.....</i>	<i>115</i>
<i>Секция 3. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА XXI ВЕКА.....</i>	<i>169</i>
<i>Секция 4 – 5. ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРИРОДНЫХ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ, УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ ПЕРЕРАБОТКИ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ.....</i>	<i>218</i>
<i>Секция 6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ОБОГАЩЕНИЯ РУД ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МЕТАЛЛУРГИИ И ИХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ.....</i>	<i>333</i>
<i>Секция 7. ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ОХРАНА ТРУДА.....</i>	<i>387</i>

**Секция 1. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ И
ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ**

БЕЛОУСОВА Ю.Ю.

Самарский государственный технический университет

**РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МИЦЕЛЛЯРНЫХ РАСТВОРОВ СМЕСИ
ОЛЕИЛАМИДОПРОПИЛБЕТАИНА И СУЛЬФОСУКЦИНАТОВ
ЭТОКСИЛИРОВАННЫХ ЖИРНЫХ СПИРТОВ**

BELOUSOVA Y.Y.

Samara State Technical University

**RHEOLOGICAL PROPERTIES OF MICELLAR SOLUTIONS OF A MIXTURE OF
OLEYLAMIDOPROPYLBETAINE AND SULFOSUCCINATES OF ETOXYLATED
FATTY ALCOHOLS**

В работе представлены результаты исследования реологических свойств смешанных мицеллярных водных и соляно-кислотных растворов олеиламидпропилбетаина (ОАПБ) и оксиэтилированных сульфосукцинатов жирных спиртов.

Актуальность исследования заключается в разработке потокоотклоняющего кислотного состава, перспективного для повышения эффективности обработки карбонатных коллекторов. Эффективность кислотных обработок (КО) зависит от геолого-физических параметров продуктивного пласта, состава кислотной композиции и технологии кислотного воздействия [1]. Одной из возможных причин низкой эффективности КО карбонатных коллекторов является преимущественное поступление кислоты в высокопроницаемые пропластки с высокой водонасыщенностью, что приводит к преждевременному росту обводненности скважинной продукции [2]. Одним из основных направлений повышения эффективности действия кислотных композиций является модификация их составов различными органическими и неорганическими компонентами с целью придания реагенту необходимых свойств. Примером модифицирования кислотных композиций является использование вязкоупругих поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые придают кислотным реагентам «самоотклоняющие» свойства. При взаимодействии соляной кислоты с карбонатной породой происходит изменение pH среды и повышение концентрации ионов двухвалентных металлов, что приводит к загущению системы и отклонению свежей порции кислотного реагента, причем в присутствии углеводородов вязкость системы не увеличивается. Таким образом, осуществляется непрерывный процесс отклонения кислотной композиции в пласте [3].

Целью исследования являлась разработка потокоотклоняющего кислотного состава с использованием анионного и цвиттерионного ПАВ (АПАВ и ЦПАВ, соответственно). В рамках поставленной цели выполнялись следующие задачи: 1) изучение закономерностей изменения вязкости водных и кислотных растворов ПАВ при их различном соотношении; 2) моделирование процесса взаимодействия соляно-кислотных растворов ПАВ с породой и определение вязкости растворов в процессе нейтрализации; 3) подбор оптимального содержания компонентов по результатам реологических исследований.

Методы исследования. Реологические свойства растворов определяли при помощи реометра MCR 52 (Anton Paar GmbH, Австрия) с использованием измерительной системы

«плита – плита» PP50. Для приготовления кислотных растворов использовались соляная кислота х.ч., 30%-ный водный раствор оксиэтилированных сульфосукцинатов жирных спиртов с различной степенью оксиэтилирования (СО-3,СО-5,СО-7 – 3, 5 и 7 моль окиси этилена, соответственно), 30%-ный водоизопропанольный раствор ОАПБ, дистиллированная вода.

На первом этапе работы была определена зависимость изменения динамической вязкости водного раствора в зависимости от содержания АПАВ при общей концентрации ПАВ 6% масс. Результаты представлены на рисунке 1.

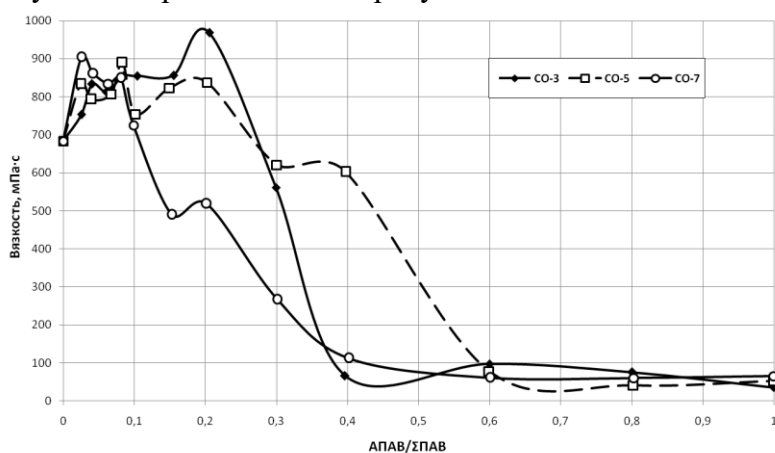


Рисунок 1. Зависимость динамической вязкости водных растворов ПАВ от соотношения АПАВ/ΣПАВ при скорости сдвига 40 с-1 и температуре 20°C

На следующем этапе было определено изменение вязкости водных растворов от общей концентрации ПАВ при выбранном соотношении АПАВ(СО-3)/ΣПАВ=0,2. Результаты определения приведены на рисунке 2.

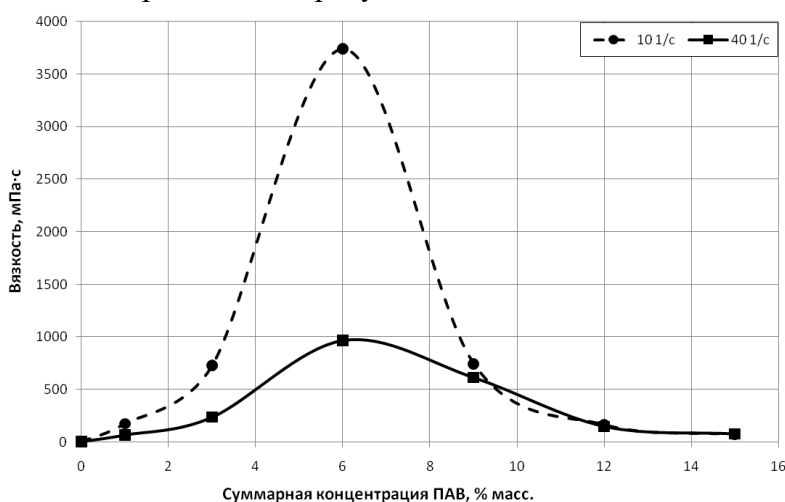


Рисунок 2. Зависимость вязкости раствора при соотношении АПАВ/ΣПАВ 0,2 от общего содержания ПАВ

Далее были приготовлены соляно-кислотные растворы при выбранном соотношении АПАВ/ΣПАВ = 0,2 и общей концентрации ПАВ - 6 %. Исходная концентрация HCl в растворах составляла 17, 23 и 28%. Кислотные составы нейтрализовали карбонатом кальция и определяли реологические характеристики частично нейтрализованных составов, а также концентрацию остаточной соляной кислоты методом титрования. Результаты исследований представлены на рисунке 3.

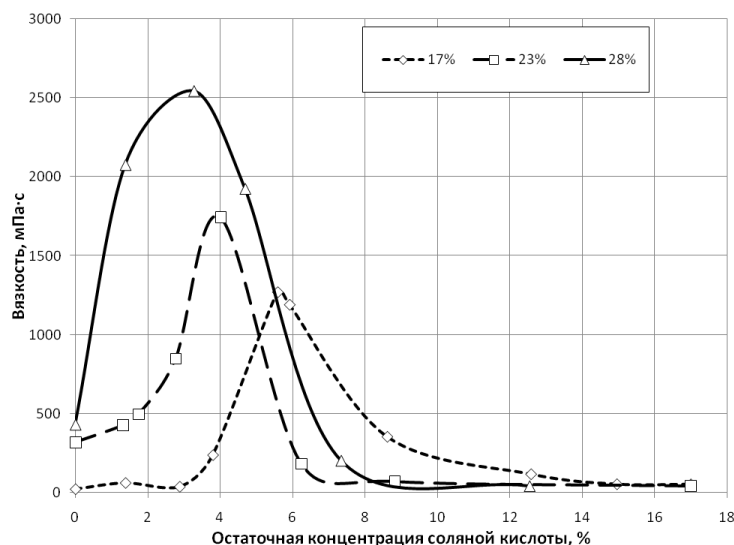


Рисунок 3. Зависимость вязкости (при 40 с^{-1} и температуре 20°C) частично нейтрализованных кислотных составов от остаточной концентрации HCl

Повышение концентрации исходной кислоты при равном содержании ПАВ (6 % масс) приводит к увеличению максимальной вязкости, расширению области проявления вязкоупругих свойств, смещению пика вязкости, к росту вязкости полностью нейтрализованного раствора.

Важными характеристиками рассматриваемой системы является оценка возможности образования вязкоупругого геля в присутствии углеводородов. Исследование показало, что в присутствии углеводородов, в качестве которых были испытаны керосин ТС-1 и сырая нефть, вязкоупругий гель не образуется.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Наиболее перспективной для приготовления композиции является смесь ОАПБ с СО-3. Пик вязкости приходится на соотношение АПАВ(СО-3)/ΣПАВ=0,2.

2. На реологические характеристики системы ОАПБ и АПАВ влияют такие факторы как: тип используемого АПАВ, оптимальное соотношение ОАПБ/СО, общая концентрация ПАВ и исходная концентрация соляной кислоты в растворе.

3. В присутствии углеводородов вязкоупругий гель не образуется.

Таким образом, соляно-кислотный состав, содержащий 6% масс. ПАВ в соотношении СО-3/ΣПАВ=0,2 и 17% масс. соляной кислоты, может быть использован в модифицированных кислотных обработках.

Список литературы:

1. Глушченко В.Н., Пташко О.А., Харисов Р.Я., Денисова А.В. Кислотные обработки: составы, механизмы реакции, дизайн. Уфа: Гилем, 2010. 392 с.
2. Chang Frank F., Xiangdong Qiu, Hisham A. Nasr El-Din Chemical Diversion Techniques Used for Carbonate Matrix Acidizing: An Overview and Case Histories // SPE Library paper number 106444. 2007. March.
3. Мохсен А.М., Хуссейн М.А., Коновалов В.В., Склюев П.В. Реологические свойства мицеллярных растворов смеси кокамидопропилбетаина и сульфосукцинатовэтоксилированных жирных спиртов. Нефтегазовое дело, 2019, т. 17, № 1, с. 33-40.

Научный руководитель: к.х.н., доцент П.В. Склюев

БОРОДИН С.А., МЕРЗЛЯКОВ К.К.
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

**ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ ВЛИЯНИЯ ЖИДКОСТЕЙ ГИДРОРАЗРЫВА
ПЛАСТА НА НАБУХАНИЕ ГЛИН**

BORODIN S.A., MERZLYAKOV K.K.
Gubkin Russian State University of Oil and Gas

**APPROACH TO INVESTIGATION OF THE HYDRAULIC FRACTURING FLUIDS
EFFECT ON CLAY SWELLING**

ГРП – это физико-гидродинамический процесс, сущность которого заключается в образовании трещин в пласте и раскрытии существующих за счет закачки специальной жидкости при давлении большем, чем давление их раскрытия.

В настоящее время преимущественно используют технологические жидкости для гидроразрыва пласта на водной основе. Такие жидкости обладают высокой вязкостью, низкими потерями давления на трение, возможностью регулирования времени сшивки и деструкции, вплоть до полного разрушения в трещине по окончанию процесса ГРП.

Использование систем на водной основе имеет неоспоримые преимущества. Однако закачка в коллектор пресных вод – основы жидкостей разрыва (а также других технологических жидкостей), может привести к нежелательным последствиям. Для ряда месторождений углеводородов присуще наличие глинистых минералов в составе породы-коллектора. Проникновение в подобные коллекторы пресной воды в ходе различных технологических операций может привести к набуханию глинистых минералов, снижению проницаемости и, как следствие, к уменьшению эффективности проведенных работ [1].

Пресная техническая вода, являющаяся основой большинства закачиваемых в пласт жидкостей для ГРП, приводит к набуханию глинистых пропластков и, как следствие, к снижению или полному отсутствию эффективности проведенных работ. Для решения такой проблемы в состав жидкостей ГРП на водной основе входят специальные реагенты – стабилизаторы глин, задачей которых становится предотвращение набухания глинистых частиц за счет химической или физической модификации поверхности.

Отсутствие единого стандарта тестирования ингибирующей способности стабилизаторов глин и наличие большого разнообразия методик исследования не позволяет однозначно оценить влияние жидкости на набухание глиносодержащих образцов [2].

Наиболее приближенный к пластовым условиям способ оценки влияния жидкости на набухание глин являются фильтрационные эксперименты. Насыпные модели пласта в основном используются при проведении сравнительных фильтрационных экспериментов, которые позволяют

оптимизировать рецептуры, или показывающих преимущество какого-либо реагента по сравнению с другими.

В научном центре мирового уровня «Рациональное освоение запасов жидких углеводородов планеты» был разработан подход к оценке влияния жидкостей на породу с использованием искусственных насыпных моделей пласта и проведены испытания по оценке ингибирующей способности набухания глин, разрушенных жидкости гидроразрыва пласта.

Для набивки насыпной модели пласта, представляющей собой толстостенную стальную трубу определенной длины и диаметра, используется молотая на шаровой мельнице в течение определенного времени исходная фракция кварцевого песка. Для проведения исследования была подобрана фракция песка, соразмерная с частицами глинистого материала – бентонитовой глины Вайомингского месторождения, в качестве модели была выбрана смесь 5% масс. глины и 95% масс. молотого песка. В качестве жидкости сравнения и для оценки проницаемости был выбран 10% раствор хлорида калия, который практически не вызывает набухания глин.

В ходе проведенных исследований были получены факторы остаточного сопротивления и коэффициенты восстановления проницаемости (таблица 1).

Таблица 1. Результаты фильтрационных исследований.

Исследуемый раствор	Фактор остаточного сопротивления (Rост), ед	Коэффициент восстановления проницаемости, ед
Дистиллированная вода	34,94	0,0286
Разрушенная система ВУПАВ	1,53	0,6517
Деструктурированный гель ГРП на ПСХ основе	2,90	0,3447
Деструктурированный гель ГРП на основе PolyGel	9,63	0,1039

Список литературы:

1. Мордвинов, А.А. Освоение эксплуатационных скважин; УГТУ: Ухта, 2004; ISBN 5-88179-334-X.
2. Muhammed, N.S.; Olayiwola, T.; Elkatatny, S. A review on clay chemistry, characterization and shale inhibitors for water-based drilling fluids. J. Pet. Sci. Eng. 2021, 206, 109043, DOI: 10.1016/j.petrol.2021.109043.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Л.А. Магадова

БУЛАТОВА А.З.

Башкирский государственный университет

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНЫХ И МНОГОФАЗНЫХ
ТЕЧЕНИЙ В ПОРОВЫХ КАНАЛАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА
ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

BULATOVA A.Z.

Bashkir State University

**NUMERICAL STUDY OF SINGLE PHASE AND MULTIPHASE FLOW IN PORE
CHANNELS USING THE BOUNDARY ELEMENT METHOD**

В настоящее время технологии, основанные на применении микрофлюидных систем, широко используются в различных областях нефтегазовой отрасли, а также в биотехнологии, химии, в развитии персонализированной медицины. В частности, изучение однофазных и многофазных течений флюидов через пористые среды является одной из ключевых проблем в нефтедобывающей области [1]. Для детального исследования механизмов, которые определяют свойства течения дисперсных систем в пористых средах, часто используются микромоделли поровых каналов. Преимущество использования микромоделей обусловлено возможностями контроля геометрии микроканалов, оптической прозрачностью микромоделей из стекла и ПДМС, что позволяет исследовать процессы внутри пористых структур в режиме реального времени и проводить точную оценку эффективности различных агентов вытеснения, построения сети микроканалов со сложной топологией и др. Использование компьютерного моделирования при изучении гидродинамических потоков на микроуровне в значительной степени сокращают финансовые и временные затраты на проведение экспериментов [2].

В настоящей работе проведено численное исследование медленного периодического течения вязкой несжимаемой жидкости и деформируемых дисперсных включений в микромоделли порового дублета – микроканала, расходящегося на микроканалы разного размера, которые затем сходятся в один микроканал. Поскольку рассматривается медленное течение, то силы вязкости, возникающие при течении жидкости, значительно превосходят сил инерции, что дает возможность полностью пренебречь инерционными членами в расчетах. Поэтому течение жидкостей описывается уравнениями Стокса. Для течения в канале, когда его стенка смачивается жидкостью, справедливо условие прилипания, которое дополняется условием периодичности на входном и выходном сечении канала. Все изучаемые процессы происходят при изотермических условиях, без учета межмолекулярных сил Ван-дер-Ваальса.

Численный подход основан на методе граничных элементов (МГЭ) [3], который очень эффективен при моделировании задач трехмерного течения в областях со сложной геометрией и при моделировании динамики деформируемых частиц, поскольку все расчеты связаны только с границами. Более подробная математическая постановка задачи и численная реализация описаны в [4, 5].

В рамках данного исследования была разработана качественная триангуляция порового дублета. Далее проводился расчет установившегося течения в микроканале рассматриваемой геометрии. На рис. 1 показаны результаты численных расчетов для однофазного течения: линий тока, модуля скорости, а также компонентов U_x и U_y

скорости потока в поровом дублете в плоскости $z = h/2$ (где h – высота канала). Отношение ширины узкой ветви канала r к ширине широкой R была $r/R = 2$. Результаты численного моделирования качественно согласуются с экспериментальными результатами, опубликованными в работе [5]. Полученные результаты для скорости потока в микроканале влияют на динамику дисперсных включений в таких каналах.

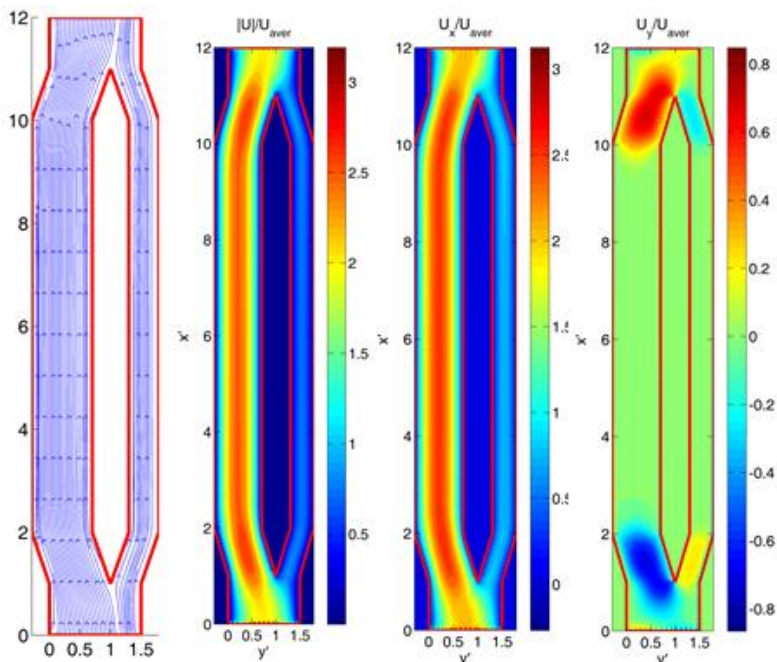


Рисунок 1. Линии тока, модуль скорости, продольная и поперечная компоненты скорости при течении вязкой жидкости в модели порового дублета в плоскости XU , скорость отнесена к средней скорости на входном сечении канала.

В рамках исследования также была изучена коллективная динамика деформируемых дисперсных частиц в поровом дублете. Варьировался размер частиц, их положение в канале, расстояния между ними в ответвлениях порового дублета под действием постоянного перепада давления. На рис. 2 показана динамика и деформация изначально сферических частиц радиусов $a = 0.15R$ и $a = 0.4R$ в разветвлениях порового дублета для различного расстояния dx между ними.

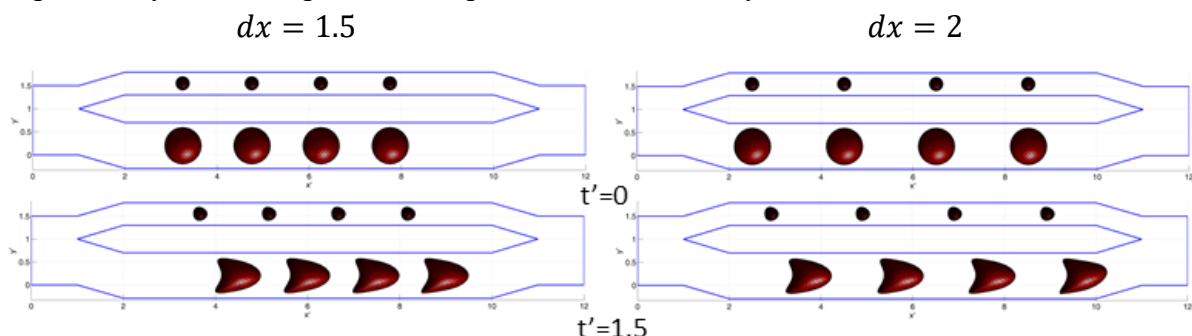


Рисунок 2. Динамика деформируемых частиц в разветвлениях порового дублета для различного расстояния между ними, радиусы частиц: $a = 0.15R$ и $a = 0.4R$.

Из рисунка 2 видно, что частицы меньшего размера практически сохраняют свою сферическую форму, в то время как большие частицы претерпевают существенные деформации, которые согласуются с особенностями формы сечения рассматриваемого канала. Для каждой из рассматриваемых частиц был произведен расчет скорости движения центра масс каждого дисперсного включения в цепочке в узком и широком каналах порового дублета. Анализ полученных результатов показал, что при уменьшении расстояния между частицами наибольшее изменение претерпевает скорость первой и последней частицы в цепочке, причем скорость первой уменьшается в случае и больших, и малых размеров, а в случае частиц радиуса $a = 0.15R$ скорость последнего увеличивается.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда в рамках научного проекта № 21-79-10212.

Список литературы:

1. S. Gogoi, S.B. Gogoi. Review on microfluidic studies for EOR application // J. Pet. Explor. Prod. Technol. – 2019. – pp. 1-15.
2. Алтунина Л. К., Кувшинов В. А. Физико-химические методы увеличения нефтеотдачи пластов нефтяных месторождений // Успехи химии. – 2007. – Том 76. – № 10. – с. 1034-1052.
3. Pozrikidis C. Boundary Integral and Singularity Methods for Linearized Viscous Flow. (Cambridge University Press, Cambridge, MA). – 1992. – p. 272.
4. Itkulova Y.A., Solnyshkina O. A., Gumerov, N.A. Toward large scale simulations of emulsion flows in microchannels using fast multipole and graphics processor accelerated boundary element method // ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE). – 2012. – с. 873-881.
5. Абрамова О. А., Иткулова Ю.А., Гумеров Н. А., Ахатов И.Ш. Эффективный метод расчета динамики большого количества деформируемых капель в Стоксовом режиме // Доклады Академии Наук. – 2014. – Том 456. – № 2. – с. 166-170.
6. Zamula Yu S, Batyrshin E S, Latypova R R, Abramova O A and Pityuk Yu A. Experimental study of the multiphase flow in a pore doublet model // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – V 1421. – pp 012052.

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент О.А Солнышкина

БУРГАНОВ Р.Р.
Санкт-Петербургский горный университет

**КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ ПРОДУКТИВНОСТИ
ДОБЫВАЮЩЕЙ СКВАЖИНЫ С ПОМОЩЬЮ КИСЛОТНОЙ ОБРАБОТКИ
ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ ПЛАСТА**

BURGANOV R.R.
Saint Petersburg Mining University

**AN INTEGRATED APPROACH TO IMPROVING THE PRODUCTIVITY OF A
PRODUCTION WELL USING ACID TREATMENT OF THE BOTTOMHOLE
FORMATION ZONE**

Эффективность разработки нефтяных месторождений во многом определяется качественной и бесперебойной работой добывающих и нагнетательных скважин. В процессе строительства скважин и в ходе их последующей эксплуатации происходит повреждение призабойной зоны и ухудшение коллекторских свойств пласта.

Основными причинами изменения фильтрационно-емкостных свойств в призабойной зоне пласта являются кольматационное загрязнение коллектора фильтраатами бурового раствора, изменение термобарических условий и физико-химических характеристик флюидов в результате первичного и вторичного вскрытия пласта. В этой связи весьма важное значение приобретают геолого-технические мероприятия (ГТМ), позволяющие оперативно восстановить фильтрационные характеристики коллектора в призабойной зоне и устранить положительный скин-фактор.

Актуальность исследования. При обработке призабойных зон скважин кислотными составами возникают трудности, связанные с высокой температурой и образованием вторичных осадков. Эти трудности связаны с характеристикой пласта, взаимодействием между кислотным раствором и минералами или жидкостями, свойствами растворов, используемых в обработке, и т.д.

Скорость реакции, а также скорость диффузии увеличиваются при возрастании температуры. Это приводит к ускорению реакций, протекающих между кислотой и породами.

Вторичные осадки вызывают закупоривание пористого пространства, снижают проницаемость пласта. Во многих случаях из-за образования вторичного осадка кислотная обработка имеет отрицательный эффект, т.е. проницаемость призабойной зоны пласта снижается после обработки.

Необходимо отметить, что успешность КО зависит не только от условий пласта, но и дизайна самой технологии. Неправильно подобранная технология проведения ОПЗ принесет лишь убытки.

Целью данной работы является обоснование подбора состава и технологии для кислотной обработки высокотемпературного низкопроницаемого терригенного коллектора, анализ эффективности кислотных обработок на месторождениях Западной Сибири и мирового опыта, методика подбора скважин-кандидатов.

Методы исследования. Основным методом для данного исследования является анализ. Также использовались такие методы как аналогия, обобщение и моделирование.

Основная часть. Для терригенного низкопроницаемого коллектора на основе анализа данных по кислотным обработкам на месторождениях Западной Сибири выделяется ряд технологий, показавших наиболее успешные результаты, а именно, многостадийная обработка, включающая в себя, соляно-кислотную ванну (СКВ), соляно-кислотную обработку (СКО) и глино-кислотную обработка (ГКО). Также успешным можно считать состав из СКО и ТК-2/3 в зависимости от минералогии пласта.

Оценка эффективности кислотных обработок на группе месторождений Западной Сибири в 2009-2010, 2013-2015, 2017, 2018 показала невысокую успешность КО. Анализ 583 операций показал, что 85% ОПЗ показывают успешность, но при условии, что дополнительная добыча по скважине за операцию составит 1 т/сут., снижает успешность до 58%.

У ряда кислотных обработок по пласту Ю₁ месторождения "Х" наблюдается дизайн, включающий в себя эти обработки, но показавших низкую эффективность в виду неправильного подхода к проведению ОПЗ. Для скважин с горизонтальными стволами (ГС), ГС с многостадийным разрывом пласта МГРП отмечается малый объем кислотного состава и продавки. Необходимо учитывать, что технология обработки скважин с МГРП должна предусматривать либо поинтервальную закачку кислотного состава, либо объем, который заполнит хвостовик и достаточное количество жидкости продавки.

Анализ данных по КО показал, что в качестве основного метода обработки применяется закачки кислоты в пласт через НКТ, что снижает эффективность в виду отсутствия контроля за расходом рабочего состава, увеличивает коррозию оборудования, но удешевляет операцию.

Наиболее технологичным методам обработки горизонтальных скважин является использование гибких насосно-компрессорных труб с пакерами, ограничивающими интервал обработки.

Изучение мировой практики в области ОПЗ с помощью кислотных составов позволило выделить наиболее эффективные технологии и закономерности в области кислотных составов:

1. Возможность замены плавиковой кислоты HF на бифторид аммония NH₄HF₂, добавление AlCl₃, полный отказ от фторид-содержащих кислот;
2. Замена соляной кислоты HCl в составе на аминополикарбоную кислоту, H₃PO₄.
3. Замена глинокислотной композиции HCl-HF на хелатные составы HEDTA, GLDA, Na₃HEDTA.
4. Необходимость добавления уксусной кислоты в глинокислотный состав в качестве комплексообразователя оксидов железа.
5. Добавление растворителя, что позволит снизить взаимодействие кислоты с нефтью, а также удалять с породы адсорбированные слои нефти и воды.

В качестве рекомендуемого состава для применения на месторождении X пласта Ю₁ выбран 3% HF+15% HCl + 5% CH₃COOH + 20% бутилцеллозолява + 1,5% АФ₉₋₁₂, показавший хорошую эффективность в лабораторных условиях и имеющий хорошие осадкоудерживающие и коррозионные свойства.

В качестве технологии ОПЗ рекомендуется описанный ранее метод с ГНКТ и пакерами для увеличения эффективности обработки и снижения затрат на кислотный состав в виду снижения необходимого его объема.

Для подбора скважины-кандидата используется гидродинамическая модель месторождения "X", в пределах которой был выделен контур (рис. 1) и определено, что снижение продуктивности скважины не связано с неэффективностью системы ППД или отсутствием запасов в зоне выработки скважины (рис. 2).

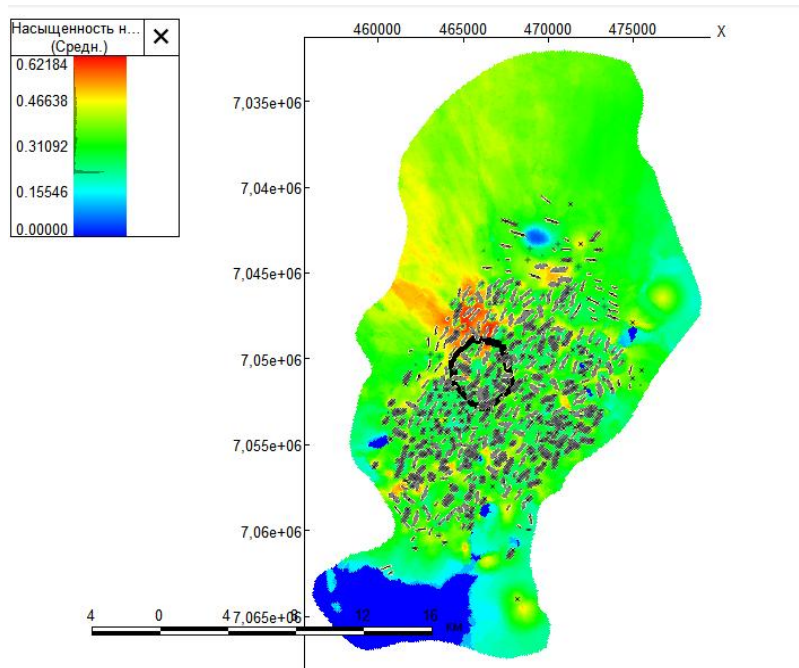


Рисунок 1. Гидродинамическая модель месторождения месторождения "X"

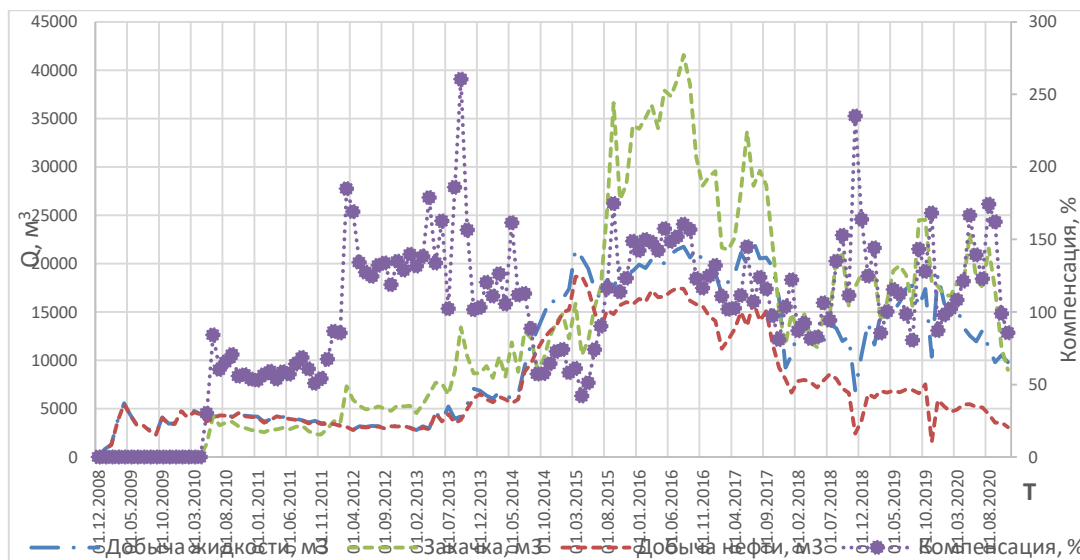


Рисунок 2. Компенсация отбора закачкой

В результате данной работы была определена скважина-кандидат с помощью гидродинамической модели, проведен анализ ОПЗ месторождений Западной Сибири и

мирового опыта, предложен дизайн, включающий в себя состав кислотной композиции и технологию проведения ОПЗ.

Список литературы:

1. Патент 2319727. Российская Федерация, МПК С09К 8/76. Состав для обработки терригенных коллекторов: № 2006122046/03: заявл. 22.06.2006: опубл. 20.03.2008 / В.А. Котельников, С.М. Путилов, Л.Е. Давыдкина, Ю.И. Хафизова. – 9с.
2. Глущенко, В.Н. Нефтепромысловая химия: Изд. в 5-ти томах. –Т.4.Кислотная обработка скважин / В. Н. Глущенко, М. А. Силин. Под ред. И.Т.Мищенко. –М.: Интерконтакт Наука, 2010. –703 с.
3. Давлетов З. Р. Разработка и исследование фторсодержащих кислотных составов, не вызывающих образования осадков в терригенном пласте : дис. – Рос. гос. ун-т нефти и газа им. ИМ Губкина, 2016
4. Подбор оптимальной кислотной композиции для проведения успешной обработки призабойной зоны заглинизированного терригенного коллектора на основе сведений о минералогическом составе / З.Р. Давлетов, М.Д. Пахомов, М.К. Мурзатаева, В.Ю. Дингес. – М.: РГУНиГ им. И.М. Губкина, 2012. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:: https://www.gubkin.ru/departaments/international_activity/files/4-report.pdf
5. Parkinson M. et al. Stimulation of multilayered high-carbonate-content sandstone formations in West Africa using chelant-based fluids and mechanical diversion //SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control. – OnePetro, 2010.
6. Alhamad L. et al. A Review of Organic Acids Roles in Acidizing Operations for Carbonate and Sandstone Formations //SPE International Conference and Exhibition on Formation Damage Control. – OnePetro, 2020

Научный руководитель: к.т.н., доцент А. М. Шагиахметов

БЯЗРОВ Р.Р.

Санкт-Петербургский горный университет

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИМЕРНОГО ЗАВОДНЕНИЯ ДЛЯ
ЗАЛЕЖЕЙ ВЫСОКОВЯЗКИХ НЕФТЕЙ**

BYAZROV R.R.

Saint Petersburg Mining University

**APPLICATION OF THE POLYMER FLOODING TECHNOLOGY FOR
RESERVOIR OF HIGH-VISCOSITY OILS**

Несмотря на прогресс, достигнутый в области развития альтернативных источников энергии, нефть и газ все еще остается преобладающим источником энергии в нашей стране и в большинстве стран мира. На сегодняшний день можно отметить тенденции снижения уровня добычи, связанные в первую очередь с выработкой и переходом большинства крупных месторождений в завершающую стадию разработки.

Можно выделить 3 основных подхода к компенсации падающих темпов добычи нефти: 1 – ввод в эксплуатацию месторождений, которые были открыты, но еще не разрабатывались; 2 – поиск и разведка новых месторождений углеводородов; 3 – внедрение методов увеличения нефтеотдачи на действующих месторождениях.

Крупным резервом для нашей страны являются запасы высоковязких (от 30 до 200 мПа*с) нефтей, на долю которых приходится более 17% от общих запасов российской нефти [1]. Главной особенностью при разработке залежей высоковязкой нефти являются ранние прорывы воды при внедрении систем поддержания пластового давления. Для оптимизации эксплуатации добычи нефти из таких залежей необходимо рассмотреть возможные технологические решения для предупреждения и борьбы с ранней обводненностью.

В мировой и отечественной практике существует огромное количество примеров, в которых на месторождениях вязкой нефти при вытеснении ее обычной водой, проявлялись ранние прорывы воды, и эксплуатация была осложнена не только вязкой нефтью, но и большим количеством воды в объеме продукции [2].

В работе [3] отмечается определяющее влияние соотношений вязкости нефти и воды над проницаемостной неоднородностью и наличием подстилающего водоносного горизонта, в процессе динамики набора обводнения продукции скважины [3]. Если закачка воды в нефтяной пласт оказывается неэффективной по причине преждевременного прорыва воды и низкого коэффициента извлечения нефти при прорыве, то в качестве возможного варианта решения проблемы может рассматриваться применение полимерного заводнения. Смысл добавления полимера можно объяснить, рассматривая соотношение подвижностей, определяемое по следующей формуле:

$$M = \frac{\lambda_o}{\lambda_w} = \frac{k_{rw(S_{or})} \cdot \mu_o}{k_{ro(S_{wc})} \cdot \mu_w} \quad (1)$$

где μ_o, μ_w – вязкости нефти и воды, мПа с;

k_{ro}, k_{rw} – относительная проницаемость.

В данном случае, учитываются эффективные проницаемости, поскольку это позволяет рассматривать селективное снижение проницаемости по воде (как правило) за счет удерживания полимера и действия механизмов закупоривания пор [4].

Технология полимерного заводнения на залежах высоковязкой нефти способствует увеличению коэффициента охвата пласта процессом заводнения за счет:

1. Предотвращения языковых прорывов воды;
2. Выравнивание профиля приёмистости нагнетательной скважины, за счет более ровного продвижения фронта вытеснения;
3. Возникновения явления фактора сопротивления и остаточного фактора сопротивления.

При внедрении любой технологии необходимо подтвердить ее технологическую эффективность, а именно увеличение КИН, дополнительная добыча нефти, снижение обводненности или увеличение безводного режима эксплуатации скважин. Для оценки потенциального эффекта от внедрения ГТМ для физико-химических процессов вытеснения нефти возможно использовать модель Бакли-Левретта [5]:

$$F(S) = \frac{k_e(s)}{k_e(s) + \frac{\mu_e}{\mu_n} \cdot k_n(s)} \quad (2)$$

где $k_n(s)$ и $k_v(s)$ – относительная (фазовая) проницаемость по нефти и воде при данной водонасыщенности;

μ_n, μ_v – коэффициенты динамической вязкости нефти и воды.

Исходные данные для расчета представлены в таблице 1:

Таблица 1. Исходные данные

Параметр	Размерность	Значение
Длина галереи, L	м	1000
Ширина галереи, b	м	400
Высота пласта, h	м	10,4
Вязкость нефти, μ_n	мПа*с	70
Вязкость воды, μ_v	мПа*с	1
Пористость, m	д. ед.	0,31
Расход жидкости	м ³ /сут	100

Проводился сравнительный анализ традиционного заводнения с заводнением полимерными составами вязкостью 10, 30, 50 мПа*с. Вязкость нефти и воды 70 и 1 мПа*с, соответственно.

Общий вид графиков функции Бакли-Лeverетта для различных вытесняющих агентов представлен на рисунке 1.

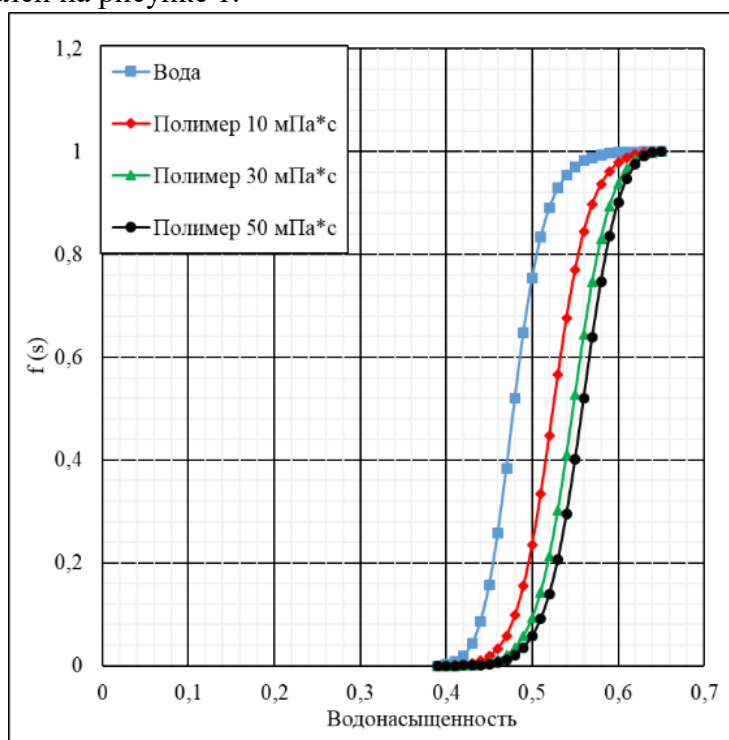


Рисунок 1. Функция Бакли-Лeverетта при вытеснении жидкостями различной вязкости

Также важным показателем является увеличение конечного КИН, длительности безводной эксплуатации, и количество дополнительно добытой нефти (Рисунок 2-4)

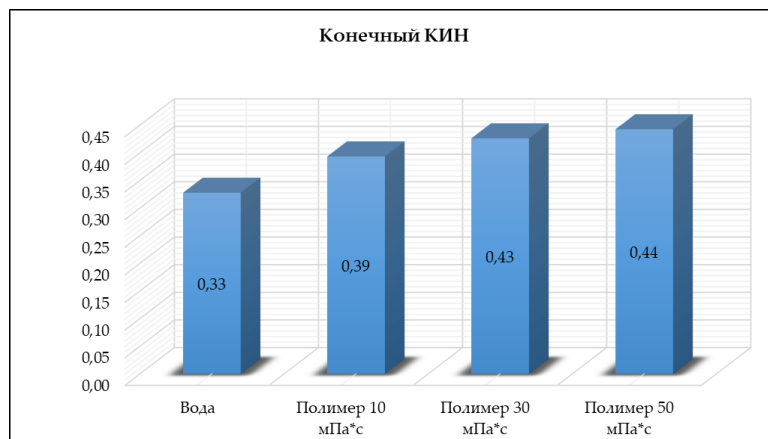


Рисунок 2. Конечный КИН при вытеснении разными вязкости агентами

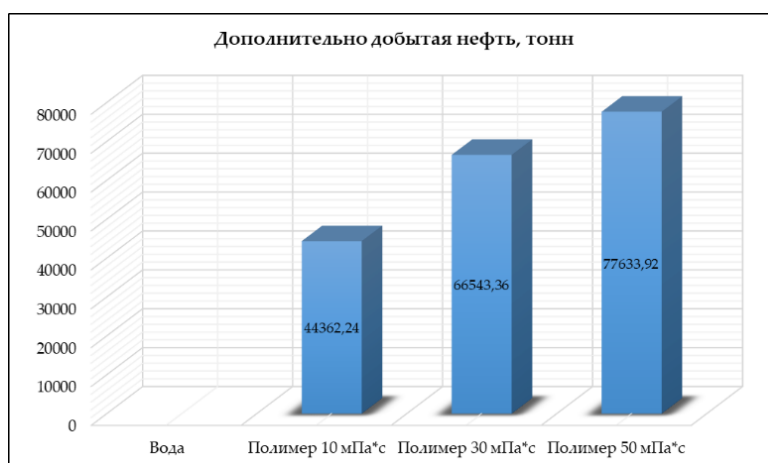


Рисунок 3. Дополнительная добыча нефти различными вариантами вытеснения нефти

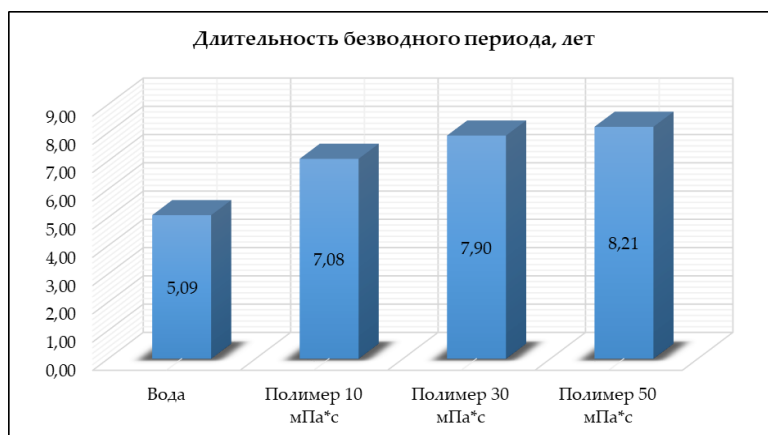


Рисунок 4. Время безводного периода эксплуатации для различных вариантов вытеснения нефти

Таким образом, технология полимерного заводнения является оптимальным вариантом для предупреждения ранних прорывов воды на объектах с высоковязкой нефтью. В дальнейшем рекомендуется рассмотреть данную технологию для повсеместного внедрения на пластах, т.к. полномасштабное тиражирование технологии

способно повысить как технологический, так и экономический эффект от данной технологии.

Список литературы:

1. Башкирцева, Н. Ю. Высоковязкие нефти и природные нефти / Н. Ю. Башкирцева // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. – № 19. – С. 296-299. – EDN SYAFXJ.
2. Лысенков Е.А. Предупреждение раннего обводнения скважин // Нефтяное хозяйство. – 2004 г. – № 1. – С. 61-63.
3. Ильина Г.Ф. А.Л.К. Методы и технологии повышения нефтеотдачи для коллекторов Западной Сибири. Томск, 2006. Vol. 166. 18–24 p.
4. Антуан Тома. Основы технологии полимерного заводнения. Пер. с англ. Яз. Под ред. И.Н. Кольцова. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2020. – 240 с.
5. Ибатуллин Р.Р. Технологические процессы разработки нефтяных месторождений: 2010 г - 325с.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Д.Г. Подопригора

ВАЛИШЕВА Д.И.

Казанский (Приволжский) федеральный университет

ОЦЕНКА АДСОРБЦИИ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПОРОДЕ ПРИ ХИМИЧЕСКОМ ЗАВОДНЕНИИ ПЛАСТА

VALISHEVA D.I.

Kazan Federal University

EVALUATION OF SURFACE-ACTIVE SUBSTANCES ADSORPTION ON ROCK DURING CHEMICAL FLOODING

В работе проведена оценка эффективности определения величины сорбции поверхностно-активных веществ (ПАВ) на породе-коллекторе методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). В ходе исследования был проведен комплексный анализ трех типов ПАВ с определением величин статической адсорбции для месторождения РТ (карбонатный коллектор). Определена зависимость величины сорбции от типа ПАВ.

Актуальность исследования. Как известно, для более эффективной добычи и для увеличения коэффициента извлечения нефти применяются третичных методов увеличения нефтеотдачи (МУН), в которых ПАВ-заводнение является одним из ведущих направлений. Для корректного подбора ПАВ под условия конкретного месторождения необходимо провести большой спектр исследований, включающих совместимость с пластовыми флюидами, активность на границе раздела вода/нефть, определение величины адсорбции на поверхности породы-коллектора.

Для оценки эффективности ПАВ механизмы сорбции являются ключевыми. Известно, что на разделе нефть-вода адсорбция ПАВ снижает межфазное натяжение (МФН), что позволяет каплям нефти растягиваться или изменять форму, что приводит к мобилизации захваченной нефти. Вторым механизмом является адсорбция на

поверхности породы с изменением смачиваемости на гидрофильную, что влияет на изменение направления капиллярного давления воды, в результате чего активизируется самопроизвольное впитывание и улучшается проникновение воды в поры. Наилучшие результаты достигаются при синергетическом эффекте, заключенном в достижении низких значений МФН и изменении свойств породы на гидрофильные. От степени и скорости адсорбции ПАВ на породе зависит его эффективность, а также необходимый объем его закачки. Таким образом, для выбора наиболее эффективного ПАВ и экономического обоснования его применения необходим точный метод определения концентрации ПАВ в растворе.[1]

Цель работы – оценка величины адсорбции ПАВ на породе-коллекторе методом ВЭЖХ.

Задачи: тестирование растворов ПАВ в свободном объеме; подготовка керна материала; построение калибровочной кривой; проведение эксперимента по статической адсорбции ПАВ на карбонатной породе; анализ концентрации ПАВ методом ВЭЖХ; оценка адсорбции ПАВ за определенный период контакта с породой.

Исследование проводилось на дезинтегрированном карбонатном керне дисперсности 0,25 – 0,5 мм, для приготовления растворов ПАВ использовалась модель пластовой воды с минерализацией 20% масс. NaCl. Оценка адсорбции проводилась для трех типов ПАВ: неионогенный, анионно-неионогенный и анионный. Тесты свободного объема включают оценку растворимости, стабильности растворов ПАВ при пластовой температуре (25 °С) и минерализации 20% масс. NaCl.

Метод обращено-фазовой ВЭЖХ заключается в разделении веществ на основе различной полярности их молекул. Анализ ВЭЖХ заключается в количественной оценке содержания компонентов в растворе определяемой площадью пиков хроматограммы. Таким образом для определения неизвестной концентрации строится калибровочная кривая зависимости площади от количества вещества (рисунок 1).[2]

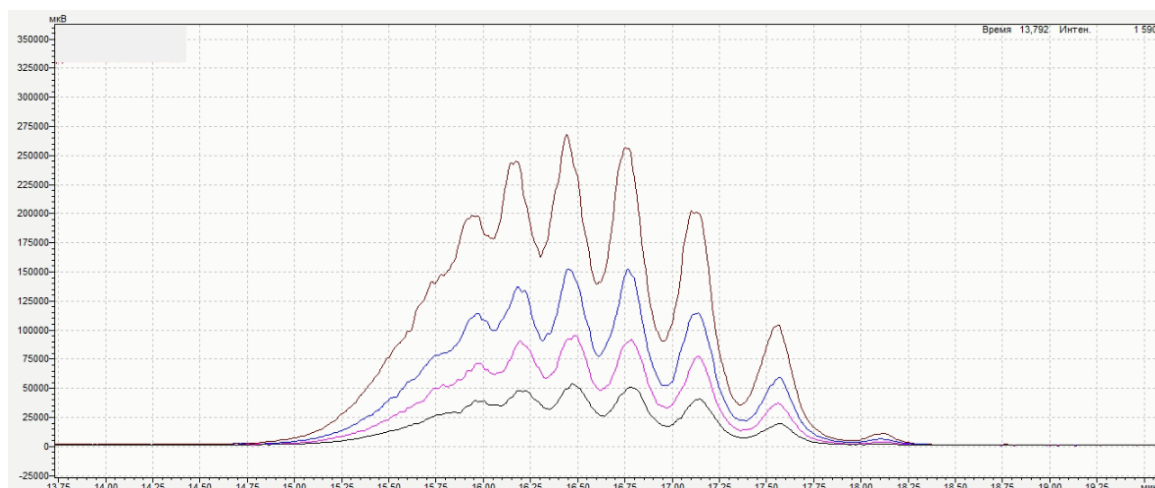


Рисунок 1. Вид хроматограммы калибровочных заколов растворов ПАВ концентрацией 0,4, 0,3, 0,2 и 0,1% масс.

Исследование динамики адсорбции ПАВ включало в себя анализ концентрации ПАВ в растворе через 12, 24, 48 и 168 часов после контакта раствора с породой. Для каждого интервала измерения была приготовлена отдельная проба раствора ПАВ с породой. Раствор ПАВ смешивают с дезинтегрированным керном в соотношении, при

котором максимальная адсорбция ПАВ не превышает значение 15 мг ПАВ на 1 г породы.

В результате получены графики и величины статической адсорбции ПАВ (рисунок 2).

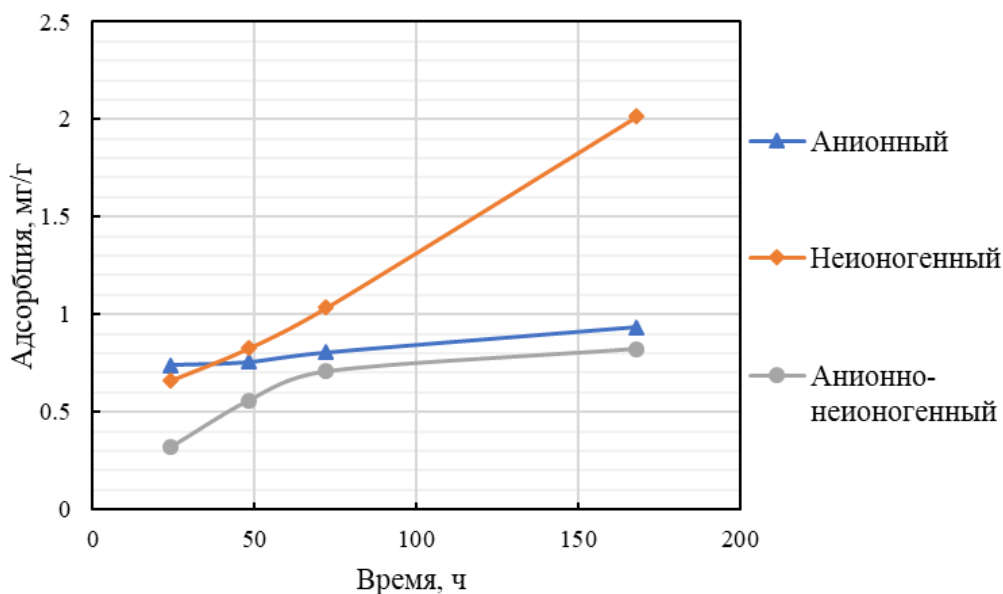


Рисунок 2. Адсорбция ПАВ

Величины адсорбции анионного и анионно-неионогенного ПАВ близки и составили 0,934 мг/г и 0,822 мг/г соответственно. Самая высокая величина адсорбции наблюдалась у неионогенного ПАВ – 2,02 мг/г. Это может объясняться меньшей гидрофильностью неионогенного ПАВ, в том числе ввиду отсутствия отрицательного заряда.

Таким образом метод ВЭЖХ позволяет проводить количественную оценку концентрации ПАВ в водном растворе на новом качественном уровне. Кроме того, метод может использоваться для оценки динамической адсорбции ПАВ, что показывает его широкий спектр применения. Так, данный анализ позволяет определить один из главных критериев подбора ПАВ и позволяет прогнозировать эффективность и экономичность технологии ПАВ-заводнения.

Список литературы:

1. A. O. Malahov *et al.*, “Screening of Surfactants for Flooding at High-Mineralization Conditions: Two Production Zones of Carbonate Reservoir,” *Energies*, vol. 15, no. 2, 2022, doi: 10.3390/en15020411.
2. H. Kesarwani, A. Saxena, A. Mandal, and S. Sharma, “Anionic/nonionic surfactant mixture for enhanced oil recovery through the investigation of adsorption, interfacial, rheological, and rock wetting characteristics,” *Energy and Fuels*, vol. 35, no. 4, 2021, doi: 10.1021/acs.energyfuels.0c03767.

Научный руководитель: к.т.н., научный сотрудник Э.Р Сайфуллин

ВОРОНЦОВ А.А.

Санкт-Петербургский горный университет

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТАНОВКИ
ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА В УСЛОВИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ
ОРГАНИЧЕСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ В СКВАЖИНЕ**

VORONTSOV A.A.

Saint Petersburg Mining University

**INCREASING THE EFFECTIVENESS ELECTRICAL SUBMERSIBLE PUMP UNIT
OPERATION IN CONDITIONS OF FORMATION OF ORGANIC DEPOSITS IN
WELL**

В данной работе рассматриваются методы повышения эффективности эксплуатации установки электроцентробежного насоса в условиях образования органических отложений, в частности, газогидратных и асфальтосмолопарафиновых отложений.

Актуальность работы обусловлена тем, что представленные в данной работе исследования могут помочь адаптировать применяемые сегодня в нефтегазовой промышленности технологические решения к месторождениям углеводородов, где совместное образование газовых гидратов и АСПО является неотъемлемой частью эксплуатационного процесса. Новые месторождения все чаще открываются за Полярным кругом, где разработка осложняется экстремально низкими температурами и многолетнемёрзлыми породами, а ведь именно эти параметры чаще всего способствуют образованию отложений газовых гидратов в скважине. АСПО являются повсеместной проблемой, а образованные вместе с гидратами сложные структуры требуют значительных усилий по их устранению. Установками электроцентробежных насосов оснащена большая часть фонда нефтяных скважин Российской Федерации, не исключение и изучаемое месторождение, где весь механизированный фонд скважин оснащен именно электроцентробежными насосами. Все это требует поиска новых решений по увеличению эффективности эксплуатации установок погружных электроцентробежных насосов в условиях, осложненных образованием органических отложений.

Объектом исследования является добывающая скважина с установленным в ней оборудованием. Предметом исследования является анализ взаимного влияния параметров работы скважинного оборудования на образование АСПО и газогидратов. Благодаря математическому моделированию представлен метод расчета глубины начала образования данных органических отложений в скважине, а также были выведены зависимости глубин начала образования асфальтосмолопарафиновых отложений и газовых гидратов от характеристик устьевого оборудования и электроцентробежного насоса: диаметра проходного сечения штуцера, частоты работы насоса, глубины подвески установки.

Углеводородные газы при определенных термодинамических условиях и при вступлении во взаимодействие с водой, способны образовывать газовые гидраты [3]. Для образования гидрата необходимы следующие три обязательных условия: благоприятные термобарические условия. (при давлениях от 1 до 30 МПа и температуре ниже 15-20°C газогидраты стабильны); наличие гидратообразующего вещества (метан, этан, двуокись углерода и др); достаточное количество воды [7]. Дополнительно были сформулированы условия, способствующие образованию гидратов при добыче нефти следующие [4]: низкая

температура в скважине; наличие в разрезе зон с пониженной температурой; наличие высокого газового фактора; выпадение парафина и парафиноотложение; остановка скважин; низкий дебит при хорошей продуктивной характеристике скважины; негерметичность лифтовой колонны.

АСПО – это тяжелые компоненты добываемой нефти, которые отлагаются на внутренней поверхности оборудования, тем самым затрудняя процесс добычи, транспорта и переработки углеводородов. Компонентный состав АСПО по разным источникам содержит 9-77% парафинов, 5-30% смол, 0,5-70% асфальтенов, связанную нефть до 60%, механические примеси до 10%, воду до 3%, серу до 2% [6]. Отложения АСПО в скважине могут происходить на различной глубине вдоль ствола скважины и зависят от режимов её работы. Как было отмечено ранее, существенную роль играет температура пласта и её последующее изменение в результате вскрытия пласта скважиной. Так, с понижением температуры и дегазацией нефти, её растворяющая способность снижается (по отношению к парафинам) [8].

Для определения исходной глубины начала отложения газовых гидратов и АСПО в скважине строится распределение температуры потока по глубине по методике [5], которая также была проанализирована в работах [1, 2, 8]. Чтобы определить распределение давления и объемного газосодержания в скважине воспользуемся модернизированной для учета работы УЭЦН методикой Поэтмана-Карпендера, описанной в работах [5, 9]. Так получились значения давлений на определённых глубинах. Далее, используя расчет температуры по длине скважины, привязываются новые значения температур для значений давлений. Полученные новые значения температур подставляются в начало и расчет повторяется для получения более точных значений, проводится постепенное приближение к истинным значениям. Проводится несколько повторений (итераций), и находится точное распределение давления по глубине НКТ и эксплуатационной колонне. Далее строится зависимость температуры насыщения нефти парафином в скважине [8] от глубины и совмещается с термограммой скважины. Глубина пересечения двух кривых и будет глубиной образования АСПО в добывающей скважине. Далее зависимость давления от температуры по НКТ накладывают на кривую гидратообразования, которая определяется с помощью расчетной методики, приведенной в монографии [7]. Часть графика, находящегося над кривой гидратообразования, соответствует параметрам, при которых образуются кристаллогидраты. Точка пересечения соответствует глубине, на которой начинается образование гидратных отложений.

В данной работе была выдвинута гипотеза, что глубину начала образования гидратов и АСПО можно уменьшить за счет изменения параметров работы скважинного оборудования, а именно глубины подвески установки электроцентробежного насоса (УЭЦН), частоты его работы, а также диаметра устьевого штуцера. В первом случае при изменении глубины подвески насоса перестраивается кривая зависимости давления от температуры по НКТ, меняется давление приема и количество газа на приеме насоса. При увеличении глубины спуска насоса глубина начала образования органических отложений уменьшается. Во втором случае рассматривается изменение диаметров проходного сечения посредством установки штуцеров. Увеличение давления неблагоприятно влияет на условия образования гидратов, увеличивая начальную глубину гидратообразования. Однако, из-за увеличения давления увеличивается и количество растворенного газа в нефти, что снижает начальную глубину образования АСПО. В качестве третьего параметра рассматривалась частота работы установки. При увеличении частоты работы погружного насоса начальная глубина образования АСПО и газовых гидратов уменьшается.

Результаты представлены на рисунке 1.

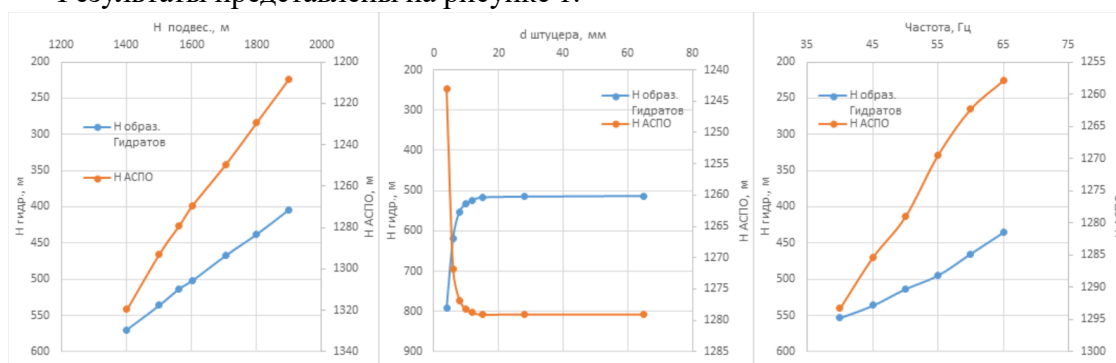


Рисунок 1. Зависимости глубин начала образования органических отложений от параметров работы скважинного оборудования

Таким образом были выведены и графически представлены зависимости изменения интервалов глубин, на которых начинается образование гидратных и асфальтосмолопарафиновых отложений, от параметров работы скважинного оборудования: частоты работы и глубины спуска, а также от диаметра проходного сечения штуцера. Данные зависимости позволяют провести оценку предлагаемых решений, применяемых на месторождениях для борьбы с образованием газовых гидратов в скважинах.

Список литературы:

1. Aleksandrov A. N., Kishchenko M. A., Nguyen Van T. Simulating the formation of wax deposits in wells using electric submersible pumps 2021.С. 283–295.
2. Korobov G., Podoprighora D. Depth computation for the onset of organic sedimentation formation in the oil producing well as exemplified by the Sibirskoye oil field // Acta Technica CSAV (Ceskoslovensk Akademie Ved). 2018. № 3 (63). С. 481–492.
3. Sloan E. D. Fundamental principles and applications of natural gas hydrates // Nature. 2003. № 6964 (426). С. 353–359.
4. Vorontsov A., Korobov G. Increasing the efficiency of operation of the electrical submersible pump unit in conditions of gas hydrates formation. Пермь - Екатеринбург., 2020.С. 87–94.
5. Гиматудинов Ш. К. [и др.]. Справочное руководство по проектированию разработки и эксплуатации нефтяных месторождений. Добыча нефти. / Ш. К. Гиматудинов, Р. С. Андриасов, И. Т. Мищенко, А. И. Петров, под ред. Ш. К. Гиматудинов, Москва: Недра, 1983. 455 с.
6. Глущенко В. Н., Силин М. А., Герин Ю. Г. Предупреждение и устранение асфальтеносмолопарафиновых отложений. Нефтепромысловая химия / В. Н. Глущенко, М. А. Силин, Ю. Г. Герин, Москва: Интерконтакт Наука, 2009. 475 с.
7. Истомин В. А., Квон В. Г. Предупреждение и ликвидация газовых гидратов в системах добычи газа / В. А. Истомин, В. Г. Квон, Москва: ООО «ИРЦ Газпром», 2004. 506 с.
8. Коробов Г.Ю. Повышение эффективности эксплуатации скважин электроцентробежными насосами с использованием ингибиторов асфальтосмолопарафиновых отложений // 2016. С. 106.
9. Мищенко И.Т. Скважинная Добыча Нефти: Учебное пособие для вузов / И. Т. Мищенко, Москва: «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. 816 с.

Научный руководитель: к.т.н, доцент Г.Ю. Коробов

ГАРИФУЛЛИНА Ч.А., ИБРАГИМОВ И.И., ХАЛИУЛЛИН Т.Ф.
Альметьевский государственный нефтяной институт

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ НА СВОЙСТВА НЕФТИ С
РАСТВОРЕННЫМ ПРИРОДНЫМ ГАЗОМ**

GARIFULLINA CH.A., IBRAGIMOV I.I., KHALIULLIN T.F.
Almetevsk State Oil Institute

**STUDY OF THE EFFECTS OF FLUE GASES ON PROPERTIES OF OIL WITH
DISSOLVED NATURAL GAS**

Использование углекислого газа для повышения нефтеотдачи пластов в сочетании с захоронением CO_2 в истощенных нефтяных залежах может стать важным решением для сокращения выбросов парниковых газов в ближайшем будущем. Это решение предполагает совместное применение улавливания и хранения углерода, образующегося при производстве электроэнергии и других промышленных объектов с CO_2 -МУН. В связи с высокой стоимостью этапа улавливания углекислого газа из промышленных выбросов закачка дымовых газов в месторождения нефти для повышения нефтеотдачи может рассматриваться как экологически безопасный и экономически рациональный способ сокращения выбросов и полезного использования парниковых газов [1].

Преимуществами закачки дымовых газов являются низкая стоимость, легкодоступные источники (состоящие в основном из N_2 и CO_2) [2]. К основным технологиям воздействия на пласт с применением дымовых газов следует отнести: прямую закачку дымовых газов при высоком давлении, повторную закачку дымовых газов в пласт после внутрипластового горения, попеременную или совместную закачку пара и генерируемых дымовых газов, водогазовое воздействие с закачкой дымовых газов, закачку горячей воды с дымовыми газами. На механизм извлечения при взаимодействии с дымовыми газами влияет исходный состав нефти, соотношение диоксида углерода и азота в дымовых газах, а также пластовые условия [3].

В данной работе выполнено экспериментальное исследование изменения свойств пластовой нефти при растворении в ней дымового газа.

Эксперименты проводились с использованием пластовой пробы нефти, попутного газа, отобранных на скважине, и пробы дымовых газов, отобранных на ТЭЦ. Пластовую нефть по свойствам можно отнести к тяжелым, сернистым, маловязким. В дальнейшем нефть рекомбинировалась с пробами растворенного (попутного) газа и дымового газа в ячейке рекомбинации для получения и исследования проб пластовой нефти и пластовой нефти с растворенным дымовым газом. Особенностью рассматриваемого объекта является значительное (до 50% и более) содержание азота в попутном (растворенном) газе.

Исследование параметров рекомбинированной пробы нефти осуществлялось путем контролируемого пошагового изменения объема рабочей камеры и достижения состояния равновесия (стабилизации давления) при постоянной температуре $23,8^\circ\text{C}$. Для рассматриваемой рекомбинированной пробы пластовой нефти давление насыщения составило 35,2 атм. Благодаря контролю объема смеси данные измерений позволяют также оценить объемный коэффициент газированной нефти и коэффициент сжимаемости в однофазном состоянии.

По завершении исследования рекомбинированной пробы нефти с попутным газом в систему подавалась первая порция дымового газа, равная объему нефти в пересчете на

стандартные условия. Таким же пошаговым способом исследовалась полученная смесь с измененным составом. Далее подавалась новая порция дымового газа и т.д. Для каждой из исследованных смесей определялись следующие характеристики: давление насыщения, объемный коэффициент нефти, сжимаемость в однофазном состоянии. Также на каждом этапе исследования определялась зависимость газосодержания нефти в насыщенном состоянии от давления, а по итогам исследований в целом – зависимость оцененных параметров смеси пластовой нефти с дымовым газом от его содержания в смеси.

На рисунке 1 приведены обобщенные графики давления насыщения $P_{нас}$ и объемного коэффициента нефти (при давлении $P_{нас}$) в зависимости от газосодержания.

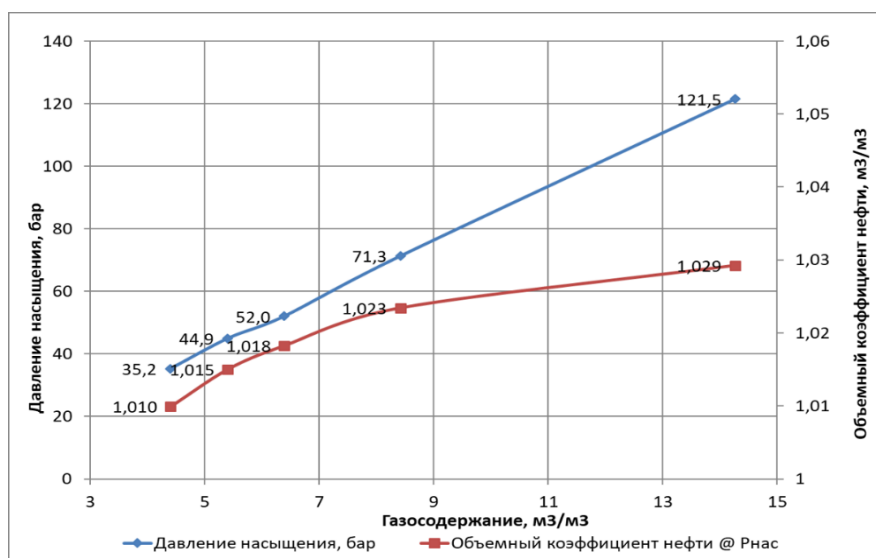


Рисунок 1. Графики давления насыщения и объемного коэффициента нефти при $P_{нас}$ в зависимости от газосодержания

Таким образом, разработана методика и проведены экспериментальные исследования для смесей нефти с попутным газом, а также с попутным газом с добавлением различного объема дымового газа для определения изменения объемных характеристик пластовой нефти без привлечения дорогостоящих полнофункциональных PVT-установок. Получены зависимости увеличения давления насыщения и объема газированной смеси от количества добавляемого дымового газа. Для рассматриваемого объекта, вследствие высокого содержания азота как в попутном газе, так и в дымовом газе, отмечается линейная зависимость давления насыщения от газосодержания. Объемный коэффициент закономерно возрастает, характер зависимости нелинейный.

Список литературы:

1. S. Bender, S. Akin. Flue gas injection for EOR and sequestration: Case study. Journal of Petroleum Science and Engineering. Volume 157, 2017. Pages 1033-1045, <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2017.07.044>
2. M. Ahmadi, M. Hasanvand, S. Shokrolahzadeh. Technical and economic feasibility study of flue gas injection in an Iranian oil field, Petroleum, Volume 1, 2015. Pages 217-222, <https://doi.org/10.1016/j.petlm.2015.07.010>
3. Горбылева Я.А. О технологиях закачки выхлопных (дымовых) газов для извлечения нефти // Вестник Евразийской науки, 2021 №4, <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46662816>

Научный руководитель: д.т.н., профессор И.М.Индрупский

ГРИГОРЬЕВ М.Б.
Санкт-Петербургский горный университет

**МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА
ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА И ТЕХНОЛОГИЙ ОГРАНИЧЕНИЯ
ПЕСКОПРОЯВЛЕНИЯ**

GRIGOREV M.B.
Saint Petersburg Mining University

**METHODS FOR CONDUCTING LABORATORY EXPERIMENTS TO STUDY THE
PROCESS AND TECHNOLOGIES FOR LIMITING SAND PRODUCTION**

В работе рассматриваются различные установки для проведения экспериментов на предмет исследования процесса пескопроявления и технологий по его ограничению. Проведено сравнение модельных и реальных условий для каждого типа тестирования и приведена краткая характеристика получаемых результатов и их промышленного значения.

Актуальность исследования заключается в необходимости проведения лабораторных экспериментов для апробации технологий ограничения пескопроявления, применяемых в нефтегазовой практике. В настоящее время на территории РФ вводится в разработку сразу несколько новых нефтяных и нефтегазоконденсатных месторождений, приуроченных к слабосцементированным породам-коллекторам. Для пород-коллекторов данного типа характерным осложнением при добыче нефти является пескопроявление – процесса выноса механических примесей в ствол скважины в процессе добычи углеводородов в результате разрушения породы-коллектора и транспортировки разрушенной породы углеводородами (Krogø & Sylvester, 2015).

Цель и методы исследования – исследование проводилось с целью определить наиболее подходящую процедуру и методику проведения испытаний для подбора технологии ограничения пескопроявления для конкретных условий пласта-коллектора и предполагаемого характера течения процесса пескопроявления. Для этого был предварительно проведен литературный обзор методик проведения испытаний, отобрана наиболее подходящая, модифицирована для потребностей команды ученых и использована в процессе проведения лабораторных исследований.

Применение систем ограничения / предотвращения пескопроявления может позволить значительно уменьшить риски для подземного и наземного оборудования. При этом стоит знать, что установка неподходящих средств ограничения пескопроявления обычно сопряжена со значительными рисками и осложнениями – развитие высокого скин-фактора, образование песчаных пробок, чрезмерный вынос породы в скважину (Dong et al., 2016; Gupta et al., 2016; Hodge et al., 2002; Khomehchi et al., 2015; Matanovic et al., 2012; Toelsie & Goerdajal, 2013).

Во избежание рисков некорректного подбора технологий ограничения пескопроявления применяют определенный набор лабораторных тестов на предмет изучения эффективности технологий в пластовых условиях.

Среди этого набора лабораторных тестов обычно выделяют:

- 1) Prepack SRT тесты (Preliminary packed Sand Retention Test);

- 2) Slurry SRT тесты;
- 3) LSCE тесты;
- 4) RSCE тесты.

Для проведения вышеперечисленных испытаний чаще всего используются:

Песчаные пачки;

Насыпные модели пласта-коллектора.

Песчаная пачка (ПП) - случайно (не всегда) распределенный объем породы заданного гранулометрического состава в определенной емкости.

Насыпная модель пласта (НМП) – объем породы заданного гранулометрического состава, заранее ограниченный с помощью термоусадочных труб под определенные параметры кернодержателя, в котором будут проводиться испытания.

Необходимость использования данных методов вызвана ограниченностью количества керна материала, поскольку в условиях слабосцементированных пород-коллекторов отбор керна является крайне затратной процедурой в силу необходимости применять шоковую криогенную заморозку для его отбора и «стабилизации» (Younessi et al., 2012). Кроме того, в контролируемых условиях лаборатории возможно «управлять» характеристиками получаемых моделей – пористостью, проницаемостью, начальной насыщенностью флюидами в определенном диапазоне.

Существует два наиболее распространенных способа создания ПП и насыпных моделей – методы сухой и влажной тампоновки (трамбовки) (Kotb et al., 2021). В ходе опытов выявлено, что при влажной тампоновке пористость и проницаемость образцов оказывается незначительно выше, чем при сухой тампоновке при сходном гранулометрическом составе. Однако, метод влажной тампоновки лишен ключевого недостатка сухого метода – конвергенции частиц породы.

Стандартный Prepack SRT тест дает довольно репрезентативное представление о том, какую апертуру фильтра при применении в качестве Standalone screen (SAS) (единственного фильтра) наиболее эффективно применить при данных пластовых условиях. Однако у данного теста есть свои ограничения. Тест не учитывает следующее (Devere-Bennett, 2015):

- 1) точную геометрию потока, влияющую на песчинки пласта, имеющие низкую сферичность и более вытянутую форму; в данном тесте вероятно завышенное КВЧ из-за малой короткой оси;

- 2) взаимодействие между прорезями (щелями) в фильтре (в первую очередь это касается купонов с прорезями, у которых открыта только одна прорезь – зачастую это щелевой фильтр (Slotted liner));

- 3) начальная пористость модели;

- 4) боковое напряжение, действующее на «стенки» модели.

Slurry SRT моделирует условия эксплуатации скважины, приводящие к отложению пластового песка на пескоудерживающую среду (фильтр или иную технологию ограничения пескопроявления) (Hodge et al., 2002). При этом данные отложения происходят в незначительных объемах, в отличие от Prepack SRT, где имитируется полное разрушение стенок скважины.

LSCE тест принципиально ничем не отличается от установки для Prepack тестов, однако конструктивная особенность LSCE тестов заключается в возможности создавать большую вертикальную нагрузку, чем при Prepack тестах. В Prepack тестах вертикальная нагрузка, создаваемая поршнем или пружиной, может составлять даже 10

psi (порядка 0,68 атм.), что не является репрезентативными условиями для моделирования пластовых условий (горного давления, к примеру). При этом установки для LSCE тестов поддерживают вертикальную нагрузку до 1000 psi (68 атм.).

Установка для RSCE тестов является развитием Prepack и LSCE тестов – ее ключевое преимущество — это моделирование радиального притока флюидов к полноразмерной модели фильтр-элемента. В результате создаются условия, максимально приближенные к пластовым как по напряженному состоянию, так и по условиям притока флюида. Ключевой недостаток этой установки – невозможность последовательного отбора нескольких проб жидкости (т.е дифференциальный отбор через определенные промежутки времени или объема).

В данной установке используются не купоны фильтр-элементов, а полноразмерные фильтры. Расположение значительного числа датчиков давления позволяет отслеживать изменение перепадов давления вокруг фильтр-элемента.

Список литературы:

1. Devere-Bennett, N. (2015, November 24). SPE-178443-MS Using Prepack Sand-Retention Tests (SRT's) to Narrow Down Liner/Screen Sizing in SAGD Wells.
2. Dong, C., Zhang, Q., Gao, K., Yang, K., Feng, X., & Zhou, C. (2016). Screen sand retaining precision optimization experiment and a new empirical design model. *Petroleum Exploration and Development*, 43(6), 1082–1088. [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(16\)30126-4](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(16)30126-4)
3. Gupta, A., Kamat, D., Hanif Zulkapli, M. B., Aisyah Bt Borhan, N., Carigali Sdn Bhd, P., Kobbeltvedt, A., Hammersmark, J., Jay, D., Sam, A., & Maxflo, D. (2016). OTC-26531-MS An Alternate Sand Handling Technology for Efficient Sand Management: Pilot and Way Forward. 1–8. <https://doi.org/https://doi.org/10.4043/26531-MS>
4. Hodge, R. M., Burton, R. C., Constien, V., & Skidmore, V. (2002, February 20). An Evaluation Method for Screen-Only and Gravel-Pack Completions. <https://doi.org/https://doi.org/10.2118/73772-MS>
5. Ikporo, B., & Sylvester, O. (2015). Effect of Sand invasion on Oil Well Production: A case study of Garon Field in the Niger Delta. *The International Journal Of Engineering And Science (IJES)* ||, 64–72. www.theijes.com
6. Khamehchi, E., Ameri, O., & Alizadeh, A. (2015). Choosing an optimum sand control method. *Egyptian Journal of Petroleum*, 24(2), 193–202. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.05.009>
7. Kotb, O., Haftani, M., & Nouri, A. (2021). An Investigation into Current Sand Control Testing Practices for Steam Assisted Gravity Drainage Production Wells. *Eng*, 2(4), 435–453. <https://doi.org/10.3390/eng2040027>
8. Matanovic, D., Cikes, M., & Moslavac, B. (2012). *Sand Control in Well Construction and Operation*. Springer Environmental Science and Engineering. <http://www.springer.com/series/10177>
9. Toelsie, S., & Goerdajal, P. (2013). SPE 165188 Sand Control in Shallow Unconsolidated Sandstone Oil Reservoirs at Staatsolie N.V. Suriname. 1–13. <https://doi.org/https://doi.org/10.2118/165188-MS>
10. Younessi, A., Rasouli, V., & Wu, B. (2012, June). The effect of stress anisotropy on sanding: An experimental study. *The Effect of Stress Anisotropy on Sanding: An Experimental Study*.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Д.С. Тананыхин

ЖАРКОВ Д.А.

Казанский (Приволжский) федеральный университет

**СЕЛЕКТИВНОЕ ГАЗОБЛОКИРОВАНИЕ СТАБИЛИЗИРОВАННЫМИ
ПЕНАМИ В ГЕТЕРОГЕННОМ ГАЗОНЕФТЯНОМ КОЛЛЕКТОРЕ**

ZHARKOV D.A.

Kazan Federal University

**SELECTIVE GAS-BLOCKING BY STABILIZED FOAMS IN A HETEROGENEOUS
GAS-OIL RESERVOIR**

Актуальность исследования. В настоящее время существуют месторождения, разрабатываемые в естественном режиме, то есть с использованием естественной энергии пласта. Разработка таких месторождений менее затратная, поскольку не требуется применение систем поддержания пластового давления (ППД). К естественным режимам относится режим газовой шапки (газонапорный). При данном режиме, основной энергией, продвигающей нефть, является расширение газа, находящегося в свободном состоянии в повышенной части пласта. Проблема прорыва газа из газовой шапки приводит к быстрой потере энергии пласта, снижению темпов разработки и необходимости применения систем ППД. Причинами быстрого прорыва газа могут стать высокая гетерогенность пласта по проницаемости, высокая вязкость нефти и выбор неправильного темпа разработки объекта.

Для предотвращения данной проблемы в мировой практике применяется ряд химических методов, таких как гели, сшитые полимеры, гелевые частицы, набухающие частицы и многие другие. Однако не все методы могут быть одинаково хорошо применимы. Часто существует риск полной блокировки пласта, которая приводит к дополнительным затратам на разработку.

Среди известных газоблокаторов выделяется пена – коллоидная система газ в воде, способная изменять свои свойства в процессе закачки, то есть проявлять селективность. Селективность воздействия пен обусловлена двумя факторами: проницаемость порового пространства и тип флюида, насыщающего коллектор. Первый фактор обуславливает одно из важнейших свойств пены – зависимость вязкости пены от проницаемости. При увеличении проницаемости (до определенных значений) происходит нелинейное увеличение кажущейся вязкости. Второй фактор основан на влиянии пластовых флюидов на образование стабильной пены. Так, присутствие нефти снижает пенообразующую способность растворов.

Для улучшения характеристик пены, таких как увеличение стабильности пены, увеличение её вязкости и времени блокирования газа пенообразующая система может быть дополнена водорастворимым полимером.

Таким образом исследование зависимостей свойств пены в пористой среде позволяет подобрать и спрогнозировать воздействие пенообразующих систем. Оптимально подобранная пенообразующая система может надежно решить проблему прорыва газа, при этом исключая риск полной блокировки пласта.

Цели и методы исследования. Целью данной работы являлись лабораторные исследования пенообразующих растворов, полимеров и их композиций в свободном объеме, а также фильтрационные исследования в пластовых условиях для подбора

оптимальной композиций растворов ПАВ и полимера для селективной блокировки газа.

В ходе работы в свободном объеме были исследованы пять пенообразующих составов и четыре полимерных стабилизатора. Для оценки и сравнения исследовались растворимость, термостабильность, пенообразующая способность растворов, стабильность пены, влияние нефти на кратность пены и скорость полураспада. Для определения оптимального режима закачки путем оценки кажущейся вязкости, градиента давления прорыва, фактора сопротивления и фактора остаточного сопротивления, а также оценки селективности были проведены фильтрационные исследования на одиночных и параллельных кернодержателях в пластовых условиях.

Основная часть. За основу было взято месторождение «Х», на котором в настоящее время наблюдаются прорывы газа из газовой шапки в эксплуатационные скважины из-за сильной неоднородности пород по проницаемости. Это приводит к высокому газовому фактору и снижению пластового давления. Месторождение разрабатывается с применением горизонтальных скважин, длина которых составляет около 1000 м. Такая длина скважин сильно ограничивает вариацию возможных методов газоблокирования. В частности, гелей и сшитых полимеров, которые могут сшиваться уже в процессе закачки. В качестве источника естественной энергии пласта используется газовая шапка. Важно отметить, что рассматриваемый пласт расположен на достаточно малой глубине (порядка 800м), как следствие: месторождение характеризуется аномально низкой пластовой температурой – 16 °С и высокой вязкостью нефти – 144 сП. Низкая температура пласта ограничивает применения многих химических газоблокаторов с внутривластовым реагированием, например геля с внутривластовой сшивкой. Одним из наиболее перспективных методов газоблокирования месторождений такого типа может стать закачка пены через добывающие скважины. Однако нужно учитывать, что закачка пены через добывающую скважину отличается от закачки в нагнетательную с более глубоким контролем подвижности или выравнивания профиля. В данной работе представлены подробные лабораторные исследования по подбору стабилизированной пенообразующей системы для блокирования газа в добывающей скважине. Одним из важнейших свойств пены является зависимость вязкости пены от проницаемости, называемая Джамин-эффектом [1]. При увеличении проницаемости (до 3 Д) происходит нелинейное увеличение кажущейся вязкости. Пена обладает хорошей способностью контролировать подвижность и селективно блокировать зоны в пористой среде. Эта особенность делает пену отличным средством для выборочного блокирования зон с высокой проницаемостью как в нагнетательных, так и в добывающих скважинах, что, таким образом, может выровнять профиль приемистости и повысить эффективность вытеснения. [2]

Для повышения стабильности пены, что особенно важно для применения на добывающих скважинах, используются водорастворимые полимеры. [3] Это позволяет увеличить вязкость жидкой фазы пены, что снижает скорость гравитационного дренажа жидкости из ламелей пены и повышает стабильность пены [4].

Результаты. В результате были подобраны ПАВ и полимер, а также оптимальные концентрации для них. Эксперименты по фильтрации пены в поровом пространстве показали, что кажущаяся вязкость пены сначала увеличивается, а затем уменьшается с увеличением доли газа в газожидкостном потоке. Кроме того, было установлено, что применение пены, стабилизированной полимером, намного эффективнее с точки зрения увеличения максимально достижимой вязкости и

газоблокирующей способности пены. Фильтрационные эксперименты на одиночных кернодержателях с различной проницаемостью показали хорошую селективность закачки, блокировки и остаточного воздействия на проницаемость. Фильтрационные эксперименты на параллельных кернодержателях показали селективность блокирующей способности в условиях, максимально приближенных к реальным. Результаты работы были апробированы на российской нефтегазовой технической конференции SPE Moscow 2021 [5].

Список литературы:

1. Smith, W. O., & Crane, M. D. 1930. The Jamin effect in cylindrical tubes. Journal of the American Chemical Society 52 (4).
2. Farajzadeh, R. Foam films stabilized with alpha olefin sulfonate (AOS) / Farajzadeh, R., Krastev, R., & Zitha, P. L. J. // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 324(1–3). – 2008 – P. 35–40.
3. Hou, J. Experiments on foam texture under high pressure in porous media / Hou, J., Du, Q., Li, Z., Pan, G., Lu, X., & Zhou, K. // Flow Measurement and Instrumentation, 33. – 2013 – P. 68–76.
4. Lee, H. O. Change in apparent viscosity of CO₂ foam with rock permeability / Lee, H. O., Heller, J. P., & Hofer, A. M. W. // SPE Reservoir Engineering (Society of Petroleum Engineers), 6(4). – 1991 – P. 421–428.
5. Saifullin E. R. et al. Laboratory Studies For Design of a Foam Pilot For Reducing Gas Channeling From Gas Cap in Production Well in Messoyakhskoye Field //SPE Russian Petroleum Technology Conference. – OnePetro, 2021.

Научный руководитель: к.т.н., научный сотрудник Э.Р. Сайфуллин

ЖУРАВЛЕВ А.Д., ГАРБУЗОВА М.А.

Самарский государственный технический университет

**ПОВЫШЕНИЕ НЕФТЕОТДАЧИ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ
ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗАКАЧКИ ДИОКСИДА
УГЛЕРОДА**

ZHURAVLEV A.D., GARBUZOVA M.A.

Samara State Technical University

**INCREASING OIL RECOVERY OF PRODUCTIVE RESERVOIRS OF HIGH-
VISCOSITY OIL USING CARBON DIOXIDE INJECTION**

В работе проводится оценка эффективности влияния диоксида углерода на высоковязкую нефть, а также дальнейшие рекомендации по применению диоксида углерода в продуктивных пластах.

Актуальность исследования: проблема добычи высоковязкой нефти на сегодняшний день довольно актуальна. Сегодня Россия добывает примерно 10% общей добычи в мире. Запасы катастрофически уменьшаются и увеличиваются запасы высоковязких нефтей и природных битумов.

Целью и методом исследования является зависимость вязкости нефти от применения диоксида углерода, дальнейшее обоснование эффективности применения диоксида углерода в сверхкритическом состоянии для повышения эффективности разработки месторождения высоковязкой нефти.

Эффективность разработки нефтяных месторождений существенно зависит от состава и свойств нефти, в частности, от содержания в ней высокомолекулярных структурообразующих компонентов: асфальтенов, смол и парафина. Чтобы наиболее полно использовать запасы углеводородного сырья, необходимо учитывать возможность проявления неньютоновских свойств в процессе эксплуатации нефтяных залежей.

Методы исследования:

1. Анализ литературных источников;
2. Анализ методов увеличения нефтеотдачи;
3. Анализ влияния диоксида углерода на высоковязкую нефть;
4. Обоснование эффективности применяемого метода.

Основная часть - рассчитать зависимости вязкости и плотности от температуры и давления; оценить фазовое состояние CO_2 и компонентов нефти в пластовых условиях; определить компонентный состав смеси нефть+диоксид углерода; определить термодинамические характеристики системы нефть+диоксид углерода.

Выводы: при выборе параметров технологии воздействия диоксидом углерода на пласт должен учитываться установленный факт изменения температуры смешения по сравнению с начальной температурой пласта (как в положительную, так и в отрицательную сторону). Экзотермический эффект смешения CO_2 и нефти в околокритической и критической области свидетельствует о возможности дополнительного извлечения нефти.

Список литературы:

1. Гумеров, Ф.М. Перспективы применения диоксида углерода для увеличения нефтеотдачи пластов // Вести газовой науки. 2011. № 2 (7).
2. Балинт, В. Применение углекислого газа в добыче нефти. / В. Балинт, А. Бан, Ш. Долешан // – М.: Недра, 1977 – 240 с.
3. Абдуллаев, В.Дж. Экспериментальные исследования вытеснения нефти газом и водогазовыми смесями. /Абдуллаев В.Дж., Ибрагимов Х.М., Кязимов Ф.К., Шафиев Т.Х.// SOCAR Proceedings N.1. – 2016. P. 51-57.
4. Кузнецов, О. А. Моделирование установки переработки нефти в Aspen HYSYS V8 : практическое пособие / О. А. Кузнецов. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. – 133 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=375184> (дата обращения: 23.09.2021). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-5995-3. – DOI 10.23681/375184. – Текст : электронный.
5. Лобанов, А.А. Исследование седиментации асфальто-смоло-парафиновых веществ при взаимодействии пластовой высоковязкой нефти и жидкого CO_2 для обоснования технологии циклического воздействия углекислотой с целью увеличения нефтеотдачи: диссертация ... канд. тех. наук: 25.00.17 / Лобанов Алексей Александрович. Москва, 2019. – 260 с.
6. Алёкина, Е.В. Техничко-экономические аспекты воздействия сверхкритическим диоксидом углерода на продуктивные пласты для увеличения нефтеотдачи / Е.В. Алёкина, В.А. Ольховская // Сб. трудов X Научно-практической конференции (с международным участием) «Сверхкритические флюиды: фундаментальные основы, технологии, инновации». - С. 652-653.

Научный руководитель: к.х.н., доцент Е.В. Алекина

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОЛЕОБРАЗОВАНИЯ

KATAEVA D.Y.
Almetyevsk State Oil Institute

PREDICTION OF SALT FORMATION

В данной статье рассматривается вопрос прогнозирования солеобразования с учетом повышения температуры скважинной продукции при эксплуатации добывающих скважин, оборудованных УЭЦН. В результате была установлена тенденция к солеобразованию тех или иных осадков при повышении температуры.

Эксплуатация месторождений на поздней стадии разработки характеризуется высокой обводненностью скважинной продукции, что повышает вероятность образования солевых отложений. Задача решения проблемы солеотложения является одной из первостепенных при добыче нефти в осложненных условиях, так как накапливаясь на оборудовании, солевые отложения приводят к большим материальным затратам, к поломке глубинно-насосного оборудования и, как следствие, к потерям в добыче нефти. Чаще всего прогнозирование осуществляется для конкретных объектов и условий на основе гидрохимических расчетов, такой подход является аналитическим.

В зависимости от типа солевых отложений в нефтепромысловой практике существуют различные варианты их прогноза. Целью настоящей работы является прогнозирование солеобразования в скважинах, оборудованных УЭЦН, в условиях Березовской площади

Ромашкинского месторождения, с учетом того, что температура скважинной продукции меняется от забоя до основания УЭЦН, при обтекании жидкости вдоль электродвигателя, а также в самом насосе. Для прогнозирования солеобразования при различных термобарических условиях необходимо рассчитать температуру набегающего на ПЭД потока, то есть температуру жидкости у основания двигателя насоса. Кроме этого, необходимо определить, насколько повышается температура жидкости в насосе (таблица 1).

Таблица 1. Результаты расчета температуры в насосе и у основания ПЭД

Номер скважины	Температура в районе кровли пласта, °С	Температура жидкости у основания ПЭД, °С	Температура жидкости в насосе, °С	Повышение температуры жидкости от работы УЭЦН, °С
1	40	32,81	34,44	1,63
2	37	33,59	36,78	3,18
3	40	34,54	37,44	2,89
4	40	35,89	38,27	2,39
5	40	34,65	36,38	1,72
6	45	37,75	41,39	3,63
7	41	33,56	35,54	1,98
8	40	35,30	37,80	2,50

Номер скважины	Температура в районе кровли пласта, °С	Температура жидкости у основания ПЭД, °С	Температура жидкости в насосе, °С	Повышение температуры жидкости от работы УЭЦН, °С
9	41	35,33	36,84	1,51
10	40	35,88	39,35	3,47
11	40	34,90	36,64	1,74
12	39	35,68	38,94	3,26
13	40	34,85	38,20	3,36
14	40	35,34	38,30	2,96
15	37	34,89	36,33	1,44
16	40	35,77	38,95	3,18
17	40	32,98	35,87	2,89
18	45	37,97	40,10	2,13

По анализу промысловых данных установлено, что эксплуатация исследуемых скважин в условиях Березовской площади Ромашкинского месторождения осложнена выпадением преимущественно сульфатных и карбонатных солей. Методика Дж.Е. Оддо и М.Б. Томсона для прогнозирования образования сульфатных и карбонатных солей позволяет учитывать изменение таких параметров как давление и температура [1]. Результаты расчета по прогнозированию отложения таких солей как гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, бассанит $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, ангидрит CaSO_4 , кальцит CaCO_3 и барит BaSO_4 представлены ниже (таблица 2).

Так как значение индекса насыщения отрицательно можем сделать вывод о том, что фактическое насыщение раствора меньше равновесного состояния и выпадение осадка невозможно.

По поводу влияния температуры на индекс насыщения воды гипсом или бассанитом можно сказать, что с понижением температуры индекс насыщения становится ближе к нулю, а, значит, возможность выпадения осадка возрастает. Что же касается ангидрита, то здесь обратная ситуация – с повышением температуры возрастает вероятность выпадения осадка. По результатам прогнозирования ни в одной из исследуемых скважин не отмечается риск выпадения подобных осадков.

Таблица 2. Индексы насыщения попутно-добываемой воды различными солями при определенных термобарических условиях

Номер скважины	Индекс насыщения SI при различных термобарических условиях (P_1T_1 ; P_1T_2)									
	гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)		бассанит ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$)		ангидрит (CaSO_4)		кальцит (CaCO_3)		барит (BaSO_4)	
	P_1T_1	P_1T_2	P_1T_1	P_1T_2	P_1T_1	P_1T_2	P_1T_1	P_1T_2	P_1T_1	P_1T_2
1	-2,229	-2,241	-	-2,079	-	-	-	-	-	-
2	-2,224	-2,258	-	-2,118	-	-	0,61	0,63	13,5	13,5
3	-2,604	-2,617	-	-2,452	-	-	-	-	16,0	16,1
4	-2,634	-2,681	-	-2,530	-	-	-	-	14,7	14,8
5	-2,768	-2,787	-	-2,631	-	-	2,62	2,64	-	-
6	-2,674	-2,670	-	-2,512	-	-	-	-	-	-

Номер скважины	Индекс насыщения SI при различных термобарических условиях (P ₁ T ₁ ;P ₁ T ₂)									
	гипс (CaSO ₄ ·2H ₂ O)		бассанит (CaSO ₄ ·0,5H ₂)		ангидрит (CaSO ₄)		кальцит (CaCO ₃)		барит (BaSO ₄)	
	P ₁ T ₁	P ₁ T ₂	P ₁ T ₁	P ₁ T ₂	P ₁ T ₁	P ₁ T ₂	P ₁ T ₁	P ₁ T ₂	P ₁ T ₁	P ₁ T ₂
7	-2,512	-2,605	-	-2,441	-	-	-	-	-	-
8	-1,955	-2,001	-	-1,863	-	-	0,61	0,63	13,2	13,3
9	-2,193	-2,181	-	-2,046	-	-	0,94	0,95	12,5	12,5
10	-3,805	-3,802	-	-3,651	-	-	-	-	13,6	13,7
11	-1,925	-1,926	-	-1,790	-	-	0,47	0,48	12,6	12,6
12	-2,064	-2,089	-	-1,922	-	-	-	-	-	-
13	-1,923	-1,960	-	-1,796	-	-	-	-	16,8	16,9
14	-1,936	-1,961	-	-1,810	-	-	-	-	14,6	14,7
15	-2,257	-2,267	-	-2,099	-	-	2,81	2,82	8,09	8,12
16	-1,868	-1,899	-	-1,764	-	-	1,36	1,38	11,8	11,9
17	-2,185	-2,266	-	-2,108	-	-	2,43	2,47	-	-
18	-1,659	-1,703	-	-1,559	-	-	2,26	2,28	-	-

В скважинах, в попутно-добываемых водах которых присутствуют ионы бария (в 12 из 18 исследуемых скважинах), отмечается выпадение осадка – барита, при этом повышение температуры лишь повышает индекс насыщения воды баритом. По результатам прогнозирования образования карбонатных солей можно утверждать, что при повышении температуры также возрастает вероятность выпадения осадка – кальцита. У половины исследуемых скважин отмечается риск выпадения кальцита в осадок.

Необходимо подчеркнуть, что при прогнозировании солеобразования влияние повышения температуры за счет работы УЭЦН на индекс насыщения оказалось незначительно, следовательно, индекс насыщения зависит больше от концентрации ионов, нежели от температуры вырабатываемой УЭЦН.

Кроме этого, в работе приведен анализ состава солеотложений, обнаруженных при эксплуатации 39 скважин Ромашкинского месторождения. Установлено, что чаще всего в составе солеотложений присутствуют такие соли как барит BaSO₄ и кальцит CaCO₃.

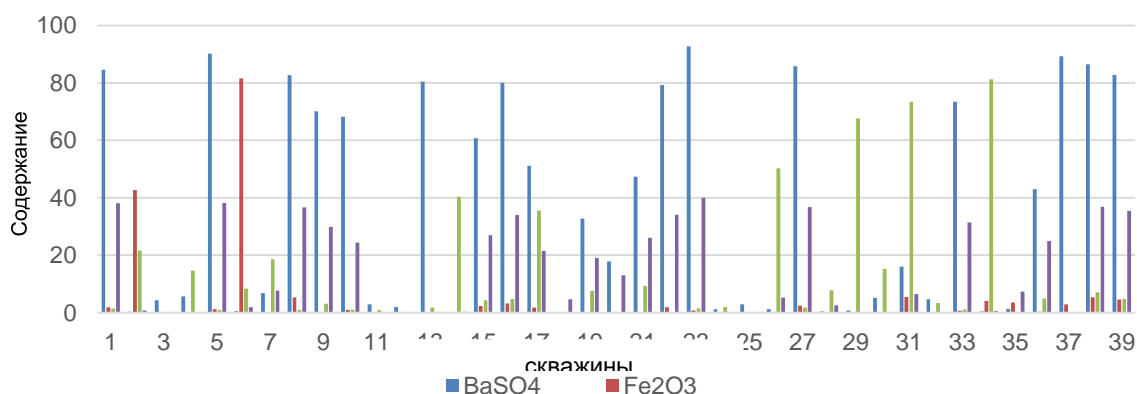


Рисунок 1. Состав наиболее часто встречающихся видов солеотложений по исследуемым скважинам Ромашкинского месторождения

Таким образом, была установлена тенденция к солеобразованию тех или иных осадков при повышении или понижении температуры. Влияние температуры на выпадение осадков не линейно и зависит от индекса насыщения воды определенными ионами солей. Отложения солей в процессе разработки и эксплуатации нефтяного месторождений имеют сложный состав и структуру в зависимости от гидрохимических и термобарических условий их образования, хомогенной среды, характера и режима движения газожидкостной смеси.

Трудности получения ряда исходных данных, отвечающих реальным условиям, и несовершенство существующих методик расчета растворимости солей в попутно-добываемых водах не всегда позволяют осуществить аналитическое прогнозирование солеобразования с достаточной точностью. Тем не менее, используемые методы прогнозирования солеобразования позволяют выявлять тенденцию к солеотложению при изменении термобарических условий.

Список литературы:

1. Саяхов В.А. Анализ эффективности эксплуатации добывающих скважин, оборудованных электрическими центробежными насосами, и разработка рекомендаций по предупреждению и ликвидации солеотложений на примере Березовской площади Ромашкинского месторождения // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. 2015. № 1. С. 154-157.
2. Кащавцев В.Е., Мищенко И.Т. Солеобразование при добыче нефти. – М.: «Орбита-М», 2004. – 430 с.
3. Аксенов, Д. А. Эксплуатация скважин в условиях солеотложения / Д. А. Аксенов // Академический журнал Западной Сибири. – 2016. – Т. 12. – № 2(63). – С. 5. – EDN ХСОРХР.
4. Вяткин, К. А. Изучение способов снижения интенсивного солеотложения в добывающих скважинах Сибирского месторождения / К. А. Вяткин, Д. С. Зарубин // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. – 2016. – № 1. – С. 107-110. – EDN ХНВГЕР.
5. Авторское свидетельство № 1218090 А1 СССР, МПК Е21В 47/00, Е21В 47/12. Способ определения солеотложения в нефтяной скважине : № 3782089 : заявл. 18.05.1984 : опубл. 15.03.1986 / Н. П. Кузнецов, О. В. Жаров ; заявитель центральная научно-исследовательская лаборатория производственного объединения "юганскнефтегаз". – edn vwudoh.

КИСЕЛЁВА А.Е., МЕРЗЛЯКОВ К.К.
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ
КИСЛОТ И КОМПЛЕКСОНОВ В КАЧЕСТВЕ УДАЛИТЕЛЕЙ
СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ**

KISELYOVA A.E., MERZLYAKOV K.K.
Gubkin Russian State University of Oil and Gas

**INVESTIGATION OF ORGANIC ACIDS AND CHELATING AGENTS
APPLICATION AS SCALE DISSOLVERS POSSIBILITY**

Проблема солеотложения становится причиной снижения продуктивности добывающих или приемистости нагнетательных скважин; неисправности промышленного оборудования и трубопроводов; увеличения числа, продолжительности, трудоемкости и стоимости ремонтов и др. [1]; вследствие этого существенно ухудшаются технико-экономические показатели процесса нефтегазодобычи. Борьба с имеющимися отложениями неорганических солей может стать частичным решением актуальной на сегодняшний день проблемы, связанной с острой необходимостью интенсификации притока нефти и газа в осложненных условиях эксплуатации месторождений.

Среди основных типов солей, формирующихся в процессе разработки и эксплуатации месторождений преобладают соли жесткости (CaCO_3 , MgCO_3), сульфаты (гипс – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, ангидрит – CaSO_4 , барит – BaSO_4 , баритоцелестин – $\text{Ba}(\text{Sr})\text{SO}_4$), хлориды (галит – NaCl). На поздних стадиях разработки залежей проявляются отложения сульфидов (макинавит – FeS , пирит – FeS_2 , мельниковит – Fe_2S_4) [2]. Подавляющее большинство солеотложений может быть удалено с помощью композиционных составов на основе соляной кислоты, однако растворимость сульфатов в них крайне мала. Более того, соляная кислота зачастую становится причиной образования эмульсий и осадков при взаимодействии с пластовыми флюидами. Для удаления сульфатов рационально использовать менее агрессивные органические кислоты, особенностью которых является возможность их применения в условиях повышенных температур при сохранении ими относительно низкой коррозионной активности. Другими эффективными компонентами растворяющих композиций являются комплексоны, механизм действия которых основан на разрушении отложений с последующим образованием устойчивых комплексных соединений с солеобразующими ионами в качестве комплексообразователей.

Целью данной работы является исследование возможности применения органических кислот и комплексообразующих агентов для растворения наиболее проблематичных неорганических солей – сульфатов кальция и бария, а также разработка на их основе оригинальных кислотных композиций, применимых в осложненных условиях эксплуатации скважин и соответствующих требованиям отраслевых стандартов.

В качестве объектов исследования использовались растворы органических кислот и комплексонов в концентрациях в диапазоне от 1 до 10% (масс.). Оценка эффективности предложенных реагентов проводилась гравиметрическим методом,

основанным на определении растворимости двуводного сульфата кальция (гипса) растворами реагентов в них в течение 1 часа при 80 °С. Массовое соотношение двуводного сульфата кальция к исследуемым реагентам – 1:10.

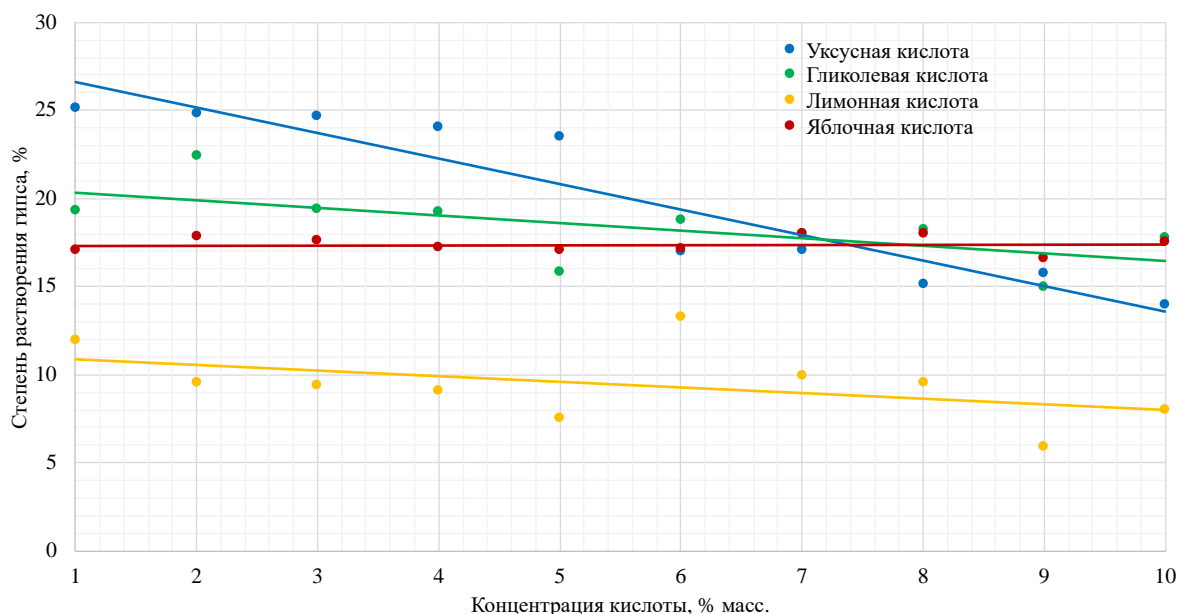


Рисунок 1. Зависимость растворяющей способности органической кислоты от её концентрации в растворе

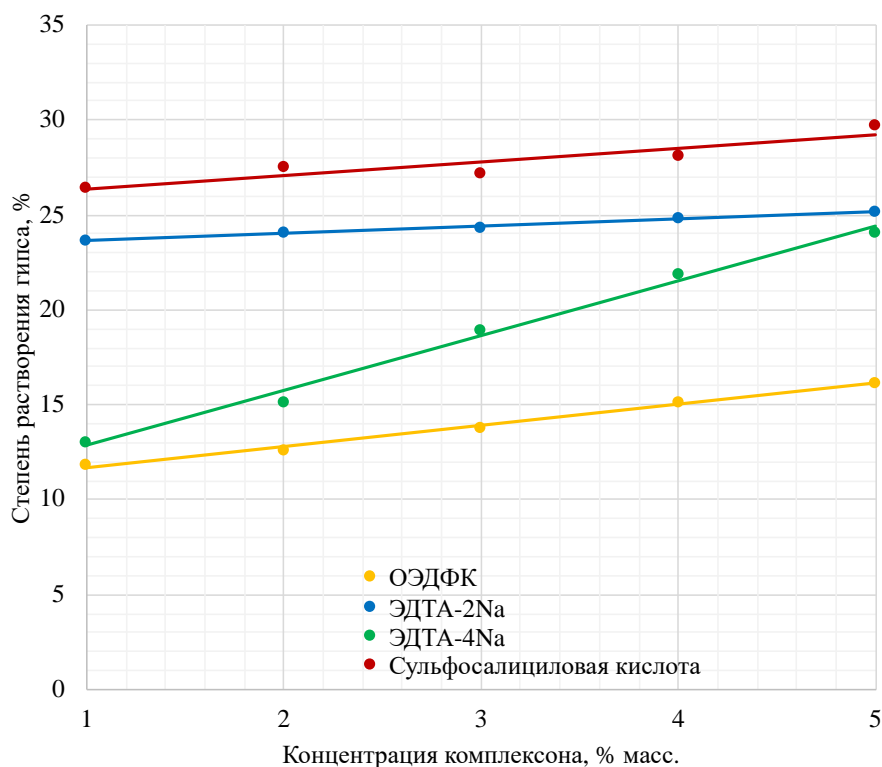


Рисунок 2. Зависимость растворяющей способности комплексона от его концентрации в растворе

Из представленных ранее результатов можно сделать следующие выводы:

В качестве основы для очищающего кислотного состава (рисунок 1) можно использовать уксусную кислоту в концентрации до 5% (масс.) или гликолевую кислоту из-за удобного для транспортировки товарного вида;

В качестве основного действующего реагента наиболее перспективным реагентом является сульфосалициловая кислота, так как показывает наибольшее растворение сульфата кальция. Также возможно использование солей этилендиаминтетрауксусной кислоты.

Список литературы:

1. Силин М.А. Промысловая химия: Учебное пособие / М.А. Силин, Л.А. Магадова, Л.И. Толстых и др. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2016. – 350 с.
2. Кащавцев В.Е. Солеобразование при добыче нефти / В.Е. Кащавцев, И.Т. Мищенко. – М.: Орбита-М, 2004. – 432 с.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Л.А. Магадова; д.т.н., доцент Л.Ф. Давлетшина

КОПЫЛОВ Д.Е.

Тюменский индустриальный университет

**ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ТЕХНОЛОГИИ УДАЛЕНИЯ ПЛАСТОВОЙ ВОДЫ С ЗАБОЯ ГАЗОВЫХ
СКВАЖИН**

KOPYLOV D.E.

Industrial University of Tyumen

**THE TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF EFFICIENCY
THE TECHNOLOGY FOR REMOVING RESERVOIR WATER FROM GAS
PRODUCING WELLS**

В работе предлагается техническое обоснование и экономическая оценка варианта разработки с использованием технологии, которая подразумевает удаление воды с забоя газодобывающей скважины при помощи насоса перевернутого типа.

Актуальность исследования заключается в поиске решения проблемы скопления воды на забое, пропорциональное добываемому газу. В определенный критический момент скважину приходится глушить для проведения работ по удалению воды из скважины, что приводит к значительным временным и финансовым затратам. Методами исследования стали построение аналитических зависимостей, связывающих технические и экономические показатели, а также проведение гидродинамического моделирования в симуляторе TNavigator.

Для решения проблемы обводнения и «самозадавливания» скважин, эксплуатирующих сеноманские залежи, предлагается технология для удаления пластовой жидкости с забоя газодобывающих скважин, состоящая из двух основных частей: комплекса внутрискважинного оборудования (с перевернутым насосом) и

программного обеспечения, регулирующего режимы работы насоса. Основные элементы компоновки отражены на рисунке 1. Газожидкостная смесь через перфорационные отверстия и фильтр (3), препятствующий поступлению песка в ствол скважины, из зоны 1 поступает в скважину и при достаточной скорости газа полностью выносится на поверхность. При длительной эксплуатации происходит подтягивание конуса подошвенной воды, подъем газо-водяного контакта, снижение скорости газа и продуктивности скважины. Вода подошвенного горизонта начинает скапливаться в надпакерном пространстве.

Система автоматического управления насосного агрегата включает в себя: датчики абсолютного давления (2, 7), система погружной телеметрии, кабель и станция управления (12), осуществляющая управление работой перевернутого насоса (8) и обеспечивающая технологические режимы работы скважины [3,4]. С помощью датчиков абсолютного давления (2 и 7), непрерывно измеряющих давления в точке и преобразующих их в выходные сигналы, определяется перепад давления в текущий момент времени, который сравнивается с минимальным критическим перепадом давления (заданным значением) и с предупредительным перепадом давления, который рассчитывается в зависимости от скорости поступления жидкости в скважину. На основе анализа данных и их сравнения принимается решение о включении и выключении перевернутого насоса.

При принятии решения о включении перевернутого насоса на станции управления сигнал от контроллера передается в систему телеметрии, которая приводит в действие электрический двигатель и перевернутый насос. Пластовая вода откачивается из надпакерной зоны и закачивается в нижележащий интервал, проперфорированный в водонасыщенную часть пласта (Зона 3).

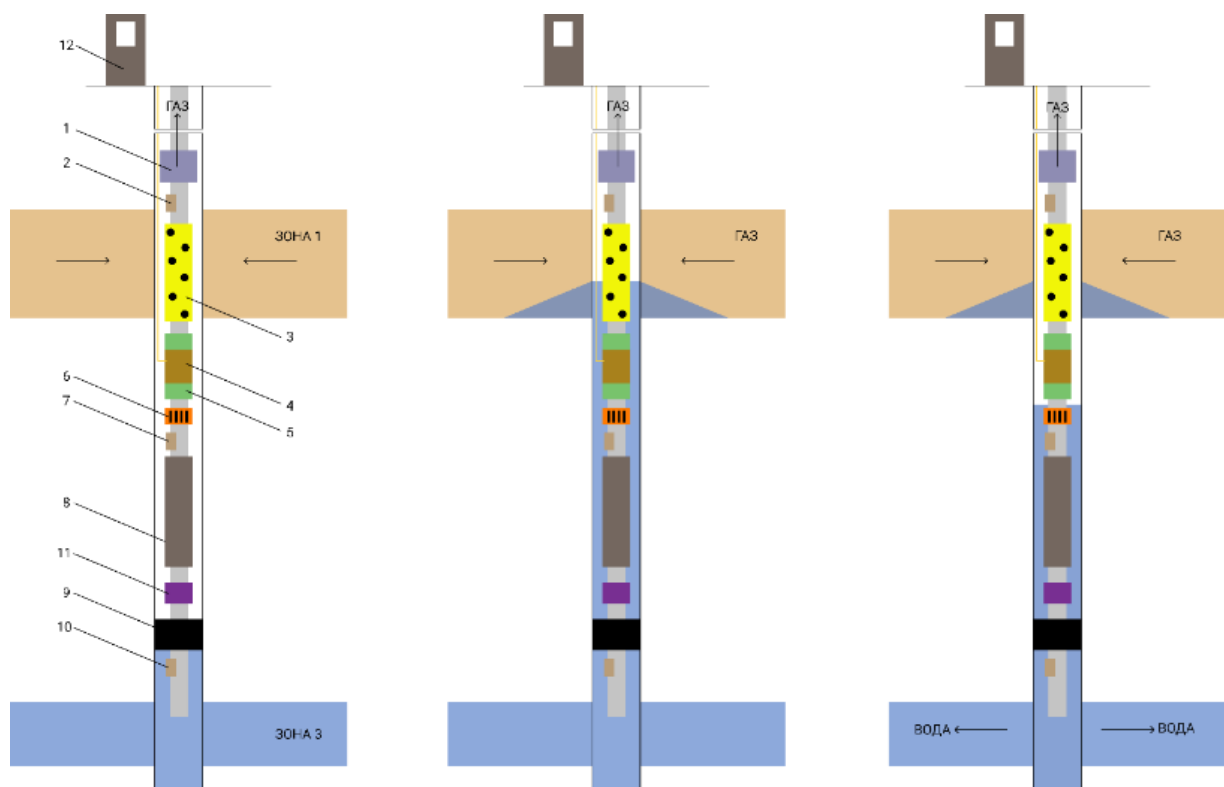


Рисунок 1. Основные элементы компоновки

В работе предлагается технологическое и экономическое обоснование эффективности работы технологии. По результатам экспериментов в гидродинамическом симуляторе отмечается продление срока эксплуатации скважины за счет удаления воды с забоя скважины.

По результатам проведения гидродинамического моделирования и аналитических расчетов отмечается увеличение накопленной добычи газа, вследствие своевременного удаления воды с забоя газовой скважины. Также, разработана блок-схема программного обеспечения для регулирования работы перевернутого насоса в скважине. Эти исследования в дальнейшем будут направлены на создание первой версии программно-аппаратного комплекса, включающего станцию управления, внутрискважинное оборудование, а также программное обеспечение.

Результаты технико-экономической оценки показали перспективы использования предлагаемой технологии на газовых скважинах. При соблюдении режима работы скважины и внутрискважинного оборудования можно добиться продления срока службы скважин в среднем на 6-7 лет, а за счет этого увеличить накопленную добычу газа в среднем на 20-25% по сравнению со стандартными вариантами разработки газовых месторождений.

Список литературы:

1. Методы повышения эффективности разработки водоплавающих нефтяных залежей / А. В. Поушев, Б. Б. Квеско, Е. Г. Карпова, А. Р. Квеско – Текст : непосредственный // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319, № 1 – С. 156–164.
2. Основы технологии добычи газа = Foundations of gas recovery technology / А. Х. Мирзаджанзаде, О. Л. Кузнецов, К. С. Басниев, З. С. Алиев. – Москва : Недра, 2003. – 880 с. – Текст : непосредственный.
3. Худяков, О.Ф. Определение предельного безводного дебита газовых и газоконденсатных скважин / О. Ф. Худяков, З. С. Алиев, А. П. Власенко. – Текст : непосредственный // Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений. – Москва : ВНИИЭгазпром. – 1974. - № 12. - С. 26-29.
4. Забоева, М. И. Регулирование потоков жидкостей и газа в процессе разработки углеводородных залежей с подошвенной водой : специальность 25.00.17 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Забоева Марина Ивановна ; Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2011. – 133 с. – Текст : непосредственный.

Научный руководитель: к.т.н., доцент А.Ю. Юшков

КУДУЕВА М.А., ЩЕРБАКОВА У.А.
Самарский государственный технический университет

**ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИЗАБОЙНУЮ
ЗОНУ СКВАЖИН, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХ ЗАЛЕЖИ ВЫСОКОВЯЗКОЙ
НЕФТИ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ**

KUDUEVA M.A., SHCHERBAKOVA U.A.
Samara State Technical University

**TECHNOLOGY OF COMPLEX IMPACT ON THE BOTTOM-HOLE ZONE OF
WELLS EXPLOITING DEPOSITS OF HIGH-VISCOSITY OIL OF THE SAMARA
REGION**

В работе предлагается анализ эффективности применения ОПЗ на скважинах, эксплуатирующих залежи высоковязкой нефти, и обоснование применения комплексной технологии воздействия на пласт А месторождения Б Самарской области.

Актуальность исследования обусловлена увеличением доли трудноизвлекаемых запасов нефти, в частности, высоковязкой и битуминозной нефти. Основными методами воздействия являются тепловые, химические и их комбинация. Для эффективного воздействия на залежи ВВН необходимо оценить текущее состояние качества запасов нефти и состояние призабойной зоны скважин, так как эффективность разработки месторождений ВВН во многом определяется состоянием ПЗП и реологической характеристикой нефти.

Методы исследования:

1. анализ литературных источников;
2. анализ текущего состояния объекта;
3. экспериментальные исследования применения комплексной технологии;

Расчет дополнительной добычи нефти после мероприятий.

Основная часть: технология термогазокислотного воздействия на пласт с применением составов FOGAS (Эксперт-Technology) состоит из трёх этапов:

1 ЭТАП – закачка термогазогенерирующие растворы «FOGAS-A» и «FOGAS-B» (Рис.1);

2 ЭТАП - закачка раствор «FOGAS-B» и кислотный раствор, содержащий ПАВ (Рис.2);

3 ЭТАП – закачка основного объема кислотного раствора.

Преимущества технологии:

1. разогрев призабойной зоны (выше 200С);
2. снизить вязкость пластовой продукции;
3. селективная обработка низкопроницаемых нефтенасыщенных пропластков;
4. высокоэффективное термореагентное удаление сложных отложений;
5. технология не требует привлечения дополнительного оборудования.

Выводы: применение данной технологии позволяет улучшить показатели разработки, путем модернизации простой кислотной обработки в комплексное воздействие с применением составов Fogas. Применение термогазокислотной

технологии позволяет увеличить дебит и продуктивность добывающих скважин, а также степень выработки запасов.

Список литературы:

1. Проект разработки Б месторождения.
2. Д.О.Королев, Г.С.Мозговой, И.В.Павлов. Технология термогазокислотного воздействия (ТГКВ) «FOGAS» Ашировские чтения: Сб. трудов Международной научно-практической конференции. / Отв. редактор В.В. Живаева. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2017. – С. 238-241.
3. Gubanov, S.I. Effect of rising reservoir temperature on production of high-viscosity oil/ S.I. Gubanov, V.I. Astafev, V.A., Olkhovskaya, K.A. Ovchinnikov, V.V. Konovalov// Petroleum engineering and petroleum geochemistry/ Proceedings of the 1st Springer Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG-1). – Tunisia. 2018.- pp.51-54
4. Imran, Ali. A dual-well system and thermal-gas-chemical formation treatment: Combined methods for high-viscosity oil production/ Ali Imran, S.I. Gubanov, K.A. Ovchinnikov, V.A. Olkhovskaya, G.A. Kovaleva, E. Galunin, A. Tkachev// Journal of Petroleum Science and Engineering. – 194 (107554). -2020. – pp/1-6

Научный руководитель: к.т.н., доцент А.М. Зиновьев; старший преподаватель С.И. Губанов

ЛЯН Я.С.

Самарский государственный технический университет

**РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ДОБЫЧИ НЕФТИ НА
ОСНОВЕ ПАВ ИЗ НИЗКОКАЧЕСТВЕННОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ**

LYAN.YS

Samara State Technical University

**DEVELOPMENT OF COMPOSITIONS FOR INCREASING OIL PRODUCTION
BASED ON SURFACTANTS FROM LOW-QUALITY HYDROCARBON
FEEDSTOCKS**

Представленная работа направлена на оценку нефтевытесняющих свойств композиций, приготовленных на основе синтезированных анионных ПАВ (очищенных и неочищенных нефтяных сульфонатов).

Актуальность исследования: Одной из приоритетных задач топливно-энергетического комплекса России является повышение коэффициента извлечения нефти и уровня добычи углеводородных ресурсов за счет разработки и совершенствования методов повышения нефтеотдачи пластов и интенсификации добычи нефти. Большая часть из существующих методов воздействия на пласт основана на применении целого комплекса химических реагентов – поверхностно-активных веществ (ПАВ), полимеров, органических и неорганических кислот, углеводородов, солей и т.д., которые обеспечивают сохранение, восстановление и улучшение фильтрационно-емкостных свойств коллектора, облегчение технологических операций, сохранение работоспособности оборудования и т.д. Среди химических компонентов, используемых для приготовления нефтепромысловых химии, наиболее дорогостоящими и ключевыми с

точки зрения придания реагентам (составам, композициям) необходимых технологических свойств (отмывающих, вытесняющих, поверхностных, реологических, пенообразующих, ингибирующих и т.д) являются ПАВ различных классов. Промышленно производимые синтетические АПАВ – анионные поверхностно-активные вещества (алкилбензолсульфонаты, олефинсульфонаты, алкилсульфонаты и многие другие) являются высокоэффективными реагентами, но их производство многостадийно, требует использования чистого сырья, а для создания оптимальных композиций зачастую требуется два и более ПАВ с различной молекулярной массой. Другой тип АПАВ – нефтяные сульфонаты (НС), получаемые сульфированием различного углеводородного сырья. По сравнению с синтетическими ПАВ, НС обладают более низкой стоимостью и широким молекулярно-массовым распределением. Одним из возможных источников сырья для получения НС являются экстракты селективной очистки масляных фракций – крупнотоннажные побочные продукты производства масел, получаемые после очистки масляных погонов селективными растворителями.

Методы исследования:

1. Анализ литературных источников;
2. Анализ методов увеличения нефтеотдачи
3. Ситовой анализ гранулометрического состава горных пород;
4. Испытание для сравнения нефтевытесняющих свойств водных растворов

ПАВ, приготовленных на основе очищенных и неочищенных нефтяных сульфонатов.

Основная часть - разработка состава для увеличения добычи нефти состоит из трех этапов: испытание очищенного образца SRN-2; испытание неочищенного образца SRN-2; оценка нефтевытесняющих свойств водных растворов ПАВ, приготовленных на основе очищенных и неочищенных нефтяных сульфонатов.

Основными направлениями совершенствования химических методов воздействия на пласт являются:

1. Снижение стоимости составов за счет применения новых типов ПАВ, обладающих более высокой поверхностной активностью;
2. Оптимизация составов и совершенствование технологий их применения;
3. Снижение себестоимости производства ПАВ, в том числе за счет использования низкокачественного углеводородного сырья.

Выводы: проведенные испытания водных растворов очищенного и неочищенного образцов НС на нефтевытесняющую способность на насыпной модели керна показали более эффективное действие неочищенного раствора.

Список литературы:

1. Абрамзон А.А., Зайченко Л.П., Файнгольд С.Н. Поверхностно-активные вещества. Синтез, анализ, свойства, применение. Под редакцией А.А. Абрамзона, 1988г
2. Бабалян Г.А./ Разработка нефтяных месторождений с применением поверхностно-активных веществ/ Г.А.Бабалян, Б.И. Леви, А.Б Тумасян, Э.М. Халимов. М.:Недра, 1983. - 216 с
3. Башкирцева, Н.Ю. Нефтеперерабатывающий комплекс мира / Н.Ю.Башкирцева/ Вестник технологического университета. Т. 18, №6, 2015. С. 63-68.
4. К.Х. Рахмангулов, Нефтяное хозяйство. 7, 44-45 (2000)
5. Л.М. Рузин, О.А. Морозюк Методы повышения нефтеотдачи пластов (учебное пособие) – УХТА УГТУ, 2014г

Научный руководитель: старший преподаватель М.В. Жидкова

МАГОМАДОВ И.А.

Грозненский государственный нефтяной технический университет имени
академика М.Д. Миллионщикова

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ МАРГИНАЛЬНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ
МНОГОВОЛЬНЫХ СКВАЖИН ТИПА РЫБЬЯ КОСТЬ**

MAGOMADOV I.A

Grozny State Oil Technical University

**ECONOMIC AND TECHNICAL OPTIMIZATION OF MARGINAL DEPLETION
DRIVE RESERVOIRS BY MULTILATERAL FISHBONE TYPE WELLS
TECHNOLOGY**

The Small Reservoirs with Solution-Gas Drive mechanism are technically considered discoverable, but economically not attractive. Multilateral wells technology and further production optimization was utilized through suggested 8 “fishbone” design alternatives. The major objective is to maximize the recovery factor of the Marginal depletion drive mechanism field with satisfying the economic criteria. Alternatives analysis includes: 1. Theoretical well performance analysis. 2. Reservoir Simulation. 3. Economic Evaluation and Risk Analysis. All alternatives boosted oil production to 16-23 % recovery, compared with low primary results of 2-3 %. It was observed that interference phenomena has more effect on inclined wells.

Mature, marginal, and unconventional fields tend to decrease in oil production with time, which is the actual industry problem that requires immediate actions and initiatives. One of such scenarios is the case study of this article AA-field with Depletion Drive reservoir mechanism, which demonstrated very low recovery efficiency, due to the formation of the gas saturation throughout the reservoir. Ultimate oil recovery from this type of mechanism varies from less than 5 to 30 % [1, 2]. During primary recovery, such reservoirs demonstrate unsatisfactory production, due to the rapid pressure decline and quick increase in Gas oil Ratio, which initiates the idea to use smart wells combined with Electrical Submersible pumps as an Artificial lift system: expanding the reservoir exposure and providing strong pressure support during the process of production. Large quantities of hydrocarbons remain in such reservoirs, which requires production optimization to make the field production economically and technically attractive. The major objective of this work is to maximize the recovery factor of the Marginal fields with depletion drive mechanism with satisfying the economic criteria (Minimum acceptable rate of return and high NPV (Net Present Value)) of the oil companies.

Alternatives in this project are grouped into 3 categories on the lateral angle basis.

1. Multilateral wells with dual branches, drain angles= 90 and 45 degrees.
2. Multilateral wells with controlled branches number, drain angle= 45 degrees.
3. Multilateral wells with controlled branches number, drain angle= 90 degrees.

The main horizontal bore is fully cased and cemented, and the branches are fully cased and perforated. All alternatives were accomplished with Electrical Submersible Pumps (ESP) technology.

Three approaches have been used to design, analyze, and evaluate the reservoir production potential with different alternatives:

1.Theoretical well performance analysis: focus on production and Productivity indexes. To quantify the well performance with the different alternatives applied, the Inflow performance equation was used. Among the variety of available methods for Multilateral wells equation of Multilateral Well Productivity index with even number of branches was used. Considering pressure drop and interference effect, allowed the author to derive an expression for a Productivity Index of Multilateral wells with odd and even number of branches [3]:

$$(PI) = \frac{n\left(\frac{2\pi k_o h}{\mu B_o}\right)}{\ln\left(\frac{(a + \sqrt{a^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2})(a + \sqrt{a^2 - (2L)^2}) \sum_{i=2}^{n-2} \left(\sqrt{a^2 - \left(2L \sin\left(\frac{180}{n} * \frac{i}{2}\right)\right)^2}\right)}{4^{n-1} \left(\frac{L}{2}\right) \sum_{i=2}^{n-2} \left(\left(2L \sin\left(\frac{180}{n} * \frac{i}{2}\right)\right)^2\right)}\right)} \quad (1)$$

2. Simulation of cases, using current modeling technologies: Reservoir Simulation tool Rubis by KAPPA®. To build numerical models and compare our alternatives preliminary designs we used Rubis software, designed by Kappa® for Multi-Purpose Full Field Numerical Simulations. Reservoir Input Parameters and Characteristics are used to generate a Dynamic Models with Alternatives.

3.Economic evaluation. Economic Evaluation and Risk Analysis: Monte Carlo Simulation combined with Crystal Ball by Oracle®. Economic analysis was carried out to determine the Profitability indicators of all alternatives. Economic models were built, and Risk Evaluation and Analysis software (Crystal Ball by Oracle) was applied for decision making process

1. According to the inflow performance relationship results, the daily oil production and productivity index tend to decrease with the increased number of branches, for all Multilateral Well (MLW) Cases. This is mainly due to the interference phenomena, which was not taken into account for theoretical quantification, while the simulator considers it. 2. According to the reservoir simulation, primary recovery demonstrated poor production: recovery factors (RF) up to 3%. This is due to the lack of pressure support for our specific reservoir drive mechanism, for which expanding reservoir exposure is not enough, without a pressure support system. After the application of the ESPs, production was boosted up to 22.63 %. 3. The results of the economic evaluation demonstrated high profitability indicators. The IRR(internal rate of return) is ranged from 60% to 165%.

Smart Wells technology combined with ESP has demonstrated a significant increase in the Recovery factor of the Depletion drive mechanism reservoir. All alternatives boosted oil production to 16-23 % oil recovered, compared with low primary recovery results of 2-3 % (table 1). It was observed that interference phenomena has more effect on Multilateral 45 degrees cases. As the number of branches increased for 45 degrees Multilateral well alternatives, the amount of oil recovered decreased, due to the inclination angles and further laterals location near to each other: production effect from some laterals was not significant. However, for 90 degrees Multilateral wells cases the increased reservoir exposure resulted in a Recovery factor increase. It was concluded that interference phenomena must be highly considered in the multilateral wells with inclined branches. These trends are possible in finite Marginal reservoirs. Among 8 Alternatives, 2 have been selected based on technical criteria: 2 laterals 45 degrees (RF=22.63 %), 4 laterals 45 degrees (RF=21.21 %). Economically, all

alternatives met IRR criteria. The best scenarios are Dual 2 laterals 45 degrees, Dual 2 laterals 90 degrees. The optimum trajectory and branches' number of multilateral wells were determined: Dual 2 laterals 45 degrees performed best on an economic and technical basis. Among all Alternatives, it was found out that the most attractive cases from the optimized production point and cost-effectiveness were 2 laterals 45 degrees and Dual 2 laterals 45 degrees.

Table 1. Comparison of Technical and Economic results of all alternatives.

Criteria	Parameter	2 L 45 °	4 L 45 °	6 L 45 °	Dual 2 MLW 45 °	2 L 90 °	4 L 90 °	6 L 90 °	Dual 2 MLW 90 °
Technical	RF, %	22.6	21.2	18.6	19.99	18.8	19.7	20.6	20.2
	Np, MMSTb/year	1.46	1.27	1.60	2.0	1.46	1.64	1.64	1.64
Economical	NPV, \$MM	181	135	191	234	171	202	197	202
	IRR, %	130	61	75	165	139	119	95	134
	POT, Years	2	3	2	2	2	2	2	2
	ROI	28.4	12.7	16.9	28.68	29.9	26.2	20.9	29.3

Recommendations for Future Work. Applying the alternative Artificial lift methods (Gas lift) to observe the well performance. Design different Multilateral wells for marginal oil fields and depletion drive reservoir mechanisms. Apply alternative drilling and completion techniques for mainbore and laterals. Machine learning technique utilization to estimate the optimum branches number.

List of references:

1. Ahmed T.H., McKinney P.D. Advanced Reservoir Management and Engineering. Boston: Gulf Professional Pub, 2012.
2. Ahmed, T.H. Reservoir Engineering Handbook. Boston: Gulf Professional Pub, 2002.
3. Shadizadeh, S.R. Modeling of Inflow Well Performance of Multilateral Wells: Employing the Concept of Well Interference and the Joshi's Expression. Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering, 2011.

Scientific Supervisor: PhD in Petroleum Engineering, Professor Dr. Saad Abdallah Balhasan

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПАСАНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ГАЗОВОЙ
СКВАЖИНЫ С ПОМОЩЬЮ ГНКТ**

MADANI SALAH
Tyumen Industrial University

**MODELING OF HORIZONTAL GAS WELL DELIQUIFICATION USING COILED
TUBING**

Wells producing natural gas are known to carry liquid water and/or condensate. As the gas flow rate decreases due to a drop in reservoir pressure, gas flow velocity decreases. When the gas velocity drops to a critical level, liquids begin to accumulate in the well therefore the flow in the well can move into an annular flow regime. Fluid accumulation increases bottomhole pressure, which reduces the gas production rate. A low gas production rate will result in a further decrease in gas velocity. Eventually, the well will move into bubble flow mode and stop producing. Thus, with the increasing number of fields that have reached the final stage of development around the world, such as Yurkharovskoye (Yamal Peninsula), Orenburgskoye in Russia, or Hassi R'Mel in Algeria. The challenge of horizontal gas well deliquification represents a relevant research topic.

Solving this problem can be achieved by increasing the gas flow velocity or by reducing the critical fluid velocity. In this work, we will focus only on the first approach, and explore the use of coiled tubing to increase the gas velocity in horizontal gas wells.

Coiled tubing is known as one of the effective methods for liquid unloading. When it is introduced into the well, allows to reduce the flow area, and increase in the gas flow velocity. When the increased gas velocity exceeds the critical velocity, the fluid accumulation stops. From the dynamics of gas production published by Dowell/Schlumberger [1], shown in Figure. 1, it is clear that when properly installed, coiled tubing in loaded wells can significantly improve their production.

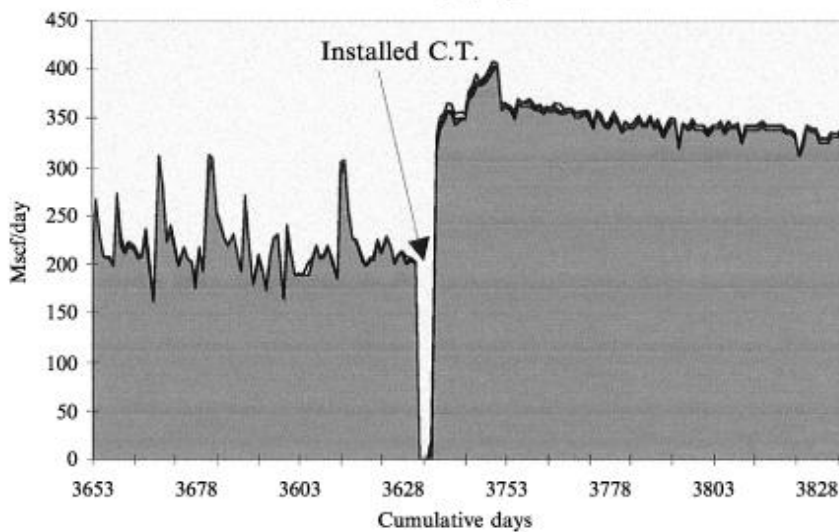


Figure.1. Example of rate change after coiled tubing installation [1]

Contrary to vertical wells, the challenge of liquid unloading in horizontal wells is more complicated, since the gas velocity depends not only on the drawdown, but also on the length

and trajectory of the wellbore. Consequently, the use of coiled tubing for horizontal gas wells deliquification requires additional research. Thus, to take into account the impact of pressure distribution and wellbore trajectory on the gas flow velocity, a semi-analytical reservoir model [2], coupled with a wellbore model under non-isothermal, steady state conditions is used. This model can be used to simulate the gas inflow, pressure distribution, and flow velocity distribution for any horizontal wellbore trajectory [3].

The critical gas velocity for liquid unloading is calculated using a model adapted for horizontal gas wells. Based on the analysis of the main flow forces, namely the axial buoyancy vector, convective inertial forces and interfacial tension forces [4]. And it is presented in the analytical equation (1):

$$V_{Cr} = \left(\frac{\rho_l - \rho_g}{40(\rho_g \sigma_{g,l})^{1/2}} \right) g \cos \theta D_H^{3/2} \quad (1)$$

V_{Cr} — Critical gas velocity, m/s; ρ_l — Water density in the wellbore, kg/m³; ρ_g — Gas density in the wellbore, kg/m³; $\sigma_{g,l}$ — Surface tension of gas-liquid in the wellbore, N/m; θ — angle of the considered wellbore section relative to horizontal axis x, °; g — Gravitational acceleration, $g = 9,80665$ m/s²; D_H — Hydraulic diameter of the pipeline, m; ($D_H = 4 \cdot \text{flowing area} / \text{Wetted channel perimeter}$).

The Models presented are used to simulate the liquid unloading in horizontal gas wells, for various Coiled tubing diameters including 1^{3/4"}, 2^{3/8"}, 2^{7/8"}, 3^{1/2"}, installed in different positions of the wellbore, to find the optimal diameter and position for liquid removal.

This work led to the following results::

1. A liquid removal solution for horizontal gas wells was obtained using coiled tubing.
2. The impact of CT diameter and its installation position in the wellbore on the flow rate and the liquid unloading efficiency was evaluated.
3. The diameter of coiled tubing and its position for best well performance and maximum well deliquification were determined.

List of references:

1. James F. Lea, Henry V. Nickens, Mike R. Wells, Gas Well Deliquification (Second Edition), //Gulf Professional Publishing. – Amsterdam, 2008. - 588 P. ISBN: 9780750682800. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-8280-0.X5001-X>
2. Сохошко С.К. Развитие теории фильтрации к пологим и горизонтальным газовым и нефтяным скважинам и ее применение для решения прикладных задач: дис. д-ра техн. Наук: 25.00.17 / С.К. Сохошко ; ТюмГНГУ –Тюмень 2008.– 211 P.
3. Сохошко С. К., Мадани С. Особенности притока газа к горизонтальному стволу скважины при различных его траекториях // ИЗВЕСТИЯ высших учебных заведений. Нефть и газ. – №. 6. – P. 90-102. DOI: <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2021-6-90-102>
4. Nagoor A. S. et al. A Simple Critical Gas Velocity Equation as Direct Functions of Diameter and Inclination for Horizontal Well Liquid Loading Prediction: Theory and Extensive Field Validation //SPE Artificial Lift Conference and Exhibition-Americas. – OnePetro, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2118/190921-MS>

Supervisor of studies: Dr. Engineering, Professor S.K. Sokhoshko

МАНУСЕНКО Д.Ю.
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

**РАСЧЕТ ПРОФИЛЯ ДОБЫЧИ ПО ОДНОМУ ИЗ ПОДНЯТИЙ
МНОГОПЛАСТОВОГО МОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ГАЗОВЫМИ
ШАПКАМИ**

MANUSENKO D.Y.
Gubkin Russian State University of Oil and Gas

**CALCULATION OF THE PRODUCTION PROFILE FOR ONE OF THE UPLIFTS
OF A MULTI-LAYER OFFSHORE FIELD WITH GAS CAPS**

Актуальность исследования обусловлена тем, что на сегодняшний день месторождений с легко извлекаемыми запасами остается все меньше и меньше вследствие их постепенного истощения. С каждым днем разработка таких объектов теряет свою актуальность, в то время как все большее внимание концентрируется на разработке месторождений, характеризующихся низкой степенью изученности и большой долей контактных запасов. К такого рода месторождениям относятся месторождения с тонкими нефтяными оторочками, о которых пойдет речь в данной работе.

Цели исследования: сформировать варианты освоения одного из поднятий многопластового морского месторождения, включающего 12 нефтегазовых и 9 газонефтяных залежей, горизонтальными скважинами, а также рассчитать профиль добычи для данного поднятия.

Основная часть. В структуре неосвоенных запасов доля нефтяных оторочек и подгазовых зон составляет 13 % (663 млн. т) [2]. На протяжении последних десятков лет их разработка не приносила достаточной прибыли, ввиду чего считалась убыточной. Причинами тому послужили низкие коэффициенты извлечения нефти (7-20%), а также значительные риски, связанные с маленькими толщинами нефтяных оторочек и сложностью процесса вытеснения [1].

Главной отличительной чертой нефтяных оторочек является то, что они представляют собой маломощные пласты (2-15 м), зажатые между газовой шапкой, обладающей существенно большим объемом, и водоносным горизонтом, которые обычно имеют хорошую гидродинамическую связь с нефтью.

Сложность разработки нефтяных оторочек состоит в том, что даже при небольшой депрессии существует большая вероятность прорывов газа и воды, которые значительно снижают время рентабельной эксплуатации скважин и коэффициент извлечения нефти. Поэтому при разработке таких залежей широко применяются горизонтальные скважины, которые позволяют вести добычу, не создавая больших депрессий.

Шельфовое расположение морских месторождений накладывает на их разработку дополнительные ограничения, обусловленные низкой степенью изученности вследствие дороговизны разведочных скважин, а также отсутствием периода пробной эксплуатации.

В результате, в данной работе были рассмотрены основные проблемы и осложнения, связанные с разработкой тонких нефтяных оторочек в условиях ограничений морских месторождений, а также проведен анализ опыта разработки нефтяных оторочек различных морских месторождений в России и за рубежом. Предложено освоение одного из поднятий многопластового морского месторождения с газовыми шапками, включающего 12 нефтегазовых и 9 газонефтяных залежей, а также проведен расчет профиля добычи по рассматриваемому поднятию.

Выводы. В ходе работы были проанализированы 7 вариантов освоения изучаемого объекта и выбран один наиболее прибыльный и эффективный из всех рассмотренных.

Список литературы:

1. Швецова, А. И., Оценка эффективности разработки нефтяных оторочек нефтегазоконденсатных пластов // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. – 2016. – № 1. – С. 190-192.
2. Семикин, Д. А., Жаковщиков А.В., Инновационные технологии российского шельфа: оптимизация заканчивания горизонтальных скважин в нефтяной оторочке // Нефть. Газ. Новации. – 2015. – № 11. – С. 23-29.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Д.В. Поляков

МЕРЕГА О.С.

Санкт-Петербургский горный университет

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭФФЕКТА НЕСТАЦИОНАРНЫХ ОТБОРОВ ЖИДКОСТИ ДОБЫВАЮЩИХ СКВАЖИН В ТРЕЩИННО-ПОРОВОМ КОЛЛЕКТОРЕ

MEREGA O.S.

Saint Petersburg Mining University

DEVELOPMENT OF A MODEL FOR PREDICTION OF THE EFFECT OF NON- STATIONARY LIQUID OUTPUTS FROM PRODUCTION WELLS IN A FRACTURE-POROUS RESERVOIR

Согласно современным представлениям, значительная часть карбонатных залежей углеводородов относится к трещинно-поровому типу коллектора, который состоит из матрицы породы и сети трещин. Большая часть запасов в подобных залежах сосредоточена в блоках породы, которые имеют намного меньшие фильтрационные характеристики в сравнении с трещинами [1]. Данная неоднородность свойств создает геологический риск, который влияет на уменьшение охвата разработкой коллектора и накладывает серьезные ограничения на традиционные виды геолого-технических мероприятий (многостадийный гидроразрыв, бурение бокового ствола), которые проводятся на месторождениях для вовлечения в разработку дополнительных нефтенасыщенных зон.

Для увеличения охвата разработкой в трещинно-поровом коллекторе возможно проведение оптимизации нестационарных отборов жидкости добывающих скважин.

Ключевым условием применения данного мероприятия является сильная неоднородность коллекторских свойств. В зонах пониженной проницаемости пьезопроводность ниже, в следствие чего в данных зонах давление распространяется с меньшей скоростью. Таким образом в результате возмущения в пласте образуются перепады давления между участками разной проницаемости, что способствует увеличению охвата разработкой и вовлечение в работу дополнительных интервалов [2]. В работе [3] подтверждается эффект от нестационарного отбора на имитационном стенде, имитирующем систему пласт – скважина. В работе [4] приводится оценка эффективности нестационарного отбора жидкости на добывающих скважинах на залежи приуроченной к карбонатному трещинно–поровому коллектору и осложненной активной подошвенной водой с помощью оптических и хроматографических методов, применяемых к пробам нефти. По результатам исследований было установлено изменение оптических свойств, связанных с дополнительным притоком нефти из блоков матрицы в трещины, что свидетельствует о повышении коэффициента охвата [4]. В патентах [7,8] описываются подходы к выбору полуциклов минимальных и максимальных дебитов для нестационарных отборов с применением дополнительных скважинных исследований, что способствует увеличению нефтеотдачи и снижению обводненности.

Для обоснования эффективности нестационарных отборов возникает необходимость в инструменте, способном прогнозировать изменение показателей добычи скважин в результате изменения текущих отборов жидкости.

Целью данной работы является создание математической модели, способной прогнозировать эффект от нестационарных отборов добывающих скважин для увеличения охвата разработкой трещинно–поровой залежи.

Для решения данной задачи необходимо создание модели, способной прогнозировать динамику технологических показателей добычи скважин. Для этого автором была построена, обучена и оптимизирована модель рекуррентной нейронной сети на основе имеющихся промысловых данных работы скважин, работающих на трещинной-поровый нефтегазоконденсатный пласт. Применение рекуррентной нейронной сети обосновывается ее эффективностью в решении задач прогнозирования временных рядов [5].

При решение данной задачи наилучшим образом себя показал однослойный алгоритм на базе управляемого рекуррентного нейрона GRU (Gated Recurrent Unit), модель работы нейрона описывается уравнениями 1 – 4 [6]. Здесь X_t – вектор дебита жидкости м³/сут, дебита газа тыс. м³/сут, обводненности % скважин на определенную дату ($[Q_{liq}^{well}, Q_g^{well}, W_c^{well}]_t$); h_{t-1} – вектор внутреннего состояния на предыдущем временном шаге, число компонентов которого равняется числу входных параметров; $W_{hr}, W_{hh'}$ - матрицы внутренних весов модели, связанных с вектором h_{t-1} ; W_{xu}, W_{xr} – матрицы внутренних весов модели, связанных с вектором входных данных X_t ; h_t – вектор внутреннего состояния на текущем временном шаге. Таким образом, модель принимает на вход последовательность из n замеров дебита жидкости, дебита газа, обводненности по каждой скважине – X_t , и вектор предыдущего внутреннего состояния h_{t-1} . Вектор h_{t-1} содержит в себе информацию о расчете на предыдущем шаге – таким образом нейронная сеть при расчетах адаптируется на предыдущий результат расчета.

$$u_t = \sigma(W_{xu}x_t + W_{hu}h_{t-1} + b_u) \quad (1)$$

$$r_t = \sigma(W_{xr}x_t + W_{hr}h_{t-1} + b_r) \quad (2)$$

$$h'_t = \tanh(W_{xh'_t}x_t + W_{hh'_t}(r_t \odot h_{t-1})) \quad (3)$$

$$h_t = (1 - u_t) \odot h'_t + u_t \odot h_{t-1} \quad (4)$$

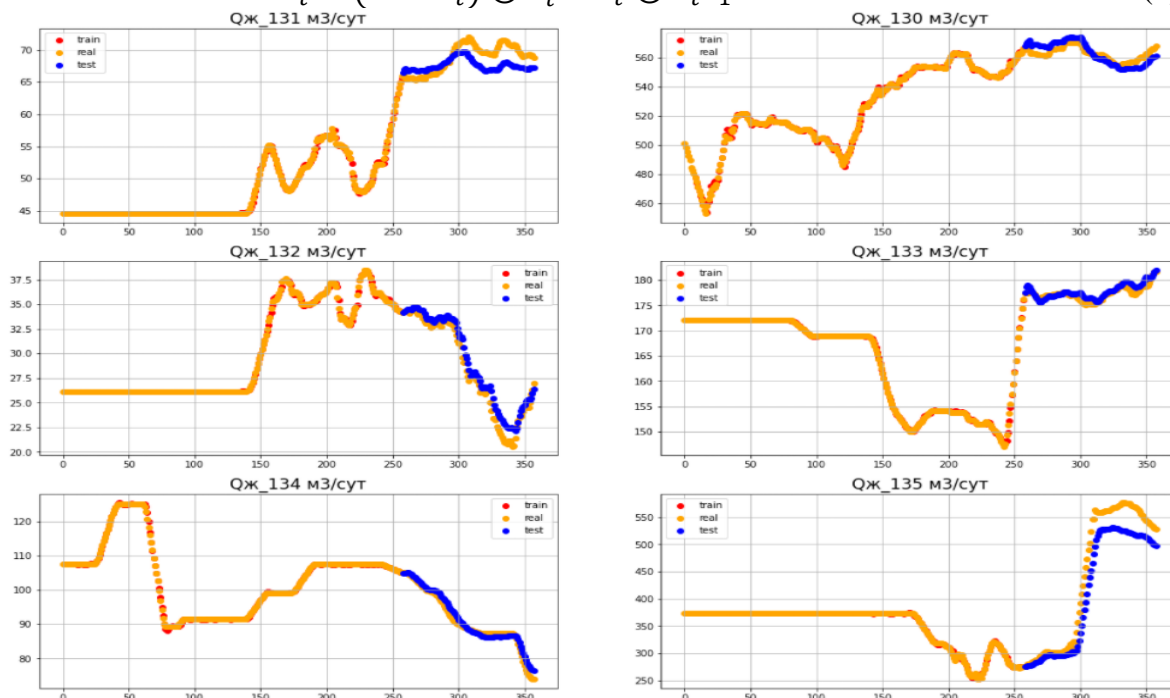


Рисунок 1. Результат работы алгоритма по прогнозу дебита жидкости на обучающей и тестовой выборке

Результат работы алгоритма представлен на рисунке 1. Алгоритм показал хорошую точность на тестовой выборке – погрешность прогнозирования модели составляет 5,3 %, что является приемлемым результатом точности.

Разработанная автором модель, обучаясь на промышленных данных добычи, способна прогнозировать динамику показателей добычи скважины. Подбирая изменение текущих отборов жидкости, данный инструмент позволяет решать задачу оптимизации нестационарных отборов для повышения охвата разработкой пласта за счет создания дополнительных депрессий в матричной части карбонатного коллектора.

Список литературы:

1. Викторин В.Д. Разработка нефтяных месторождений, приуроченных к карбонатным коллекторам/ В.Д. Викторин, Н.А. Лыков. - М., Недра, 1980, 202 с. - Текст : непосредственный.
2. Сургучев М.Л., Колганов В.И., Гавура А.В. и др. Извлечение нефти из карбонатных коллекторов/ М.Л. Сургучев, В.И. Колганов, А.В. Гавура и др. – М.: Недра, 1987, 230 с. - Текст: непосредственный.
3. К.Л. Горшкова, Н.Н. Алаева, Л.Г. Орехова. К вопросу выбора режима работы скважинного насоса при нестационарном отборе жидкости. Нефть и газ, №5, 2019.
4. Гуськова И.А., Леванова Е.В., Белошадка И.Е. Анализ эффективности нестационарного отбора с использованием оптических и хроматографических методов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2018. Т. 19. № 1. С. 102—111. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-1-102-111

5. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание.: Пер. с англ. — М.: Издательский дом “Вильямс”, 2006. - 1104 с. - Текст: непосредственный.
6. Deep Learning with Gated Recurrent Unit Networks for Financial Sequence Predictions/ Shen Guizhu, Tan Qingping, Haoyu Zhang, Zeng Ping, Xu Jianjun. – Direct text// Procedia Computer Science. - 2018. - № 131. – P. 895-903.
7. Патент 2695183. Российская Федерация, МПК E21B 43/20, E21B 49/08. Способ нестационарного отбора жидкости из коллектора трещинно – порового типа: № 2018138547: заявл. 31.10.2018: опубл. 22.07.2019/ И.А.Гуськова, Р.З.Нургалиев, Л.И.Гарипова, Д.Р.Хаярова.
8. Патент 2376562. Российская Федерация, МПК E21B 43/20. Способ разработки нефтяной залежи с помощью импульсного режима отбора жидкости № 2008102197/03: заявл. 21.01.2008: опубл. 27.07.2009/ И.Н.Файзуллин, С.В.Королев, Р.Г.Шайдуллин, Д.В. Гуськов, Р.С. Губаев, П.В.Люшкин.

Научный руководитель: к.т.н, доцент С.В. Мигунова

МЕРЗЛЯКОВ К.К., МАМЕДОВ А.А.
ГГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

ИССЛЕДОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ГИДРОФОБИЗИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ К ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ЖИДКОСТЯМ

MERZLYAKOV K.K., MAMEDOV A.A.
Gubkin Russian State University of Oil and Gas

RESEARCH OF UNIVERSAL RESEARCH OF UNIVERSAL HYDROPHOBIZING ADDITIVE TO TECHNOLOGICAL FLUIDS

В настоящее время на территории Российской Федерации большая часть месторождений нефти находится на поздних этапах разработки, которые характеризуются низкими дебитами и высокой обводненностью скважинной продукции. Также активно ведется разработка новых карбонатных месторождений, которые характеризуются низкими проницаемостями. Для увеличения объемов добываемой нефти применяются различные методы интенсификации нефтедобычи, такие как: кислотные обработки (КО) призабойной зоны пласта (ПЗП), гидроразрыв пласта (ГРП). При проведении данных технологических операций меняется фазовая проницаемость породы ПЗП, что может приводить к образованию водных блокад, увеличению времени вывода скважины на режим. Отдельно стоит проблема проведения данных операций в заглинизированных терригенных коллекторах, где может происходить необратимое набухание глин и ухудшение фильтрационно-емкостных свойств. Также стоит отметить быструю выработку кислотного состава при обработках высокотемпературных карбонатных коллекторов.

Для решения данных проблем может применяться особый тип поверхностно-активных веществ (ПАВ) – гидрофобизаторы, принцип действия которых основан на адсорбции полярной части молекулы на поверхности породы, при этом неполярная часть обеспечивает изменение смачиваемости породы. При этом данная добавка не должна влиять на свойства самой технологической жидкости: кислотного состава,

жидкости ГРП или глушения. В результате адсорбции данного ПАВ на поверхности породы меняется направление капиллярного давления для флюидов замещающих раствор ПАВ в поровом пространстве: для углеводородных жидкостей оно будет сонаправлено с гидродинамическим давлением, а для минеральных водных растворов (пластовых вод) будет направлено против гидродинамического давления.

В качестве объекта в данном исследовании была выбрана гидрофобизирующая добавка, разработанная в НЦМУ «Рациональное освоение запасов жидких углеводородов планеты», состоящая из смеси различных классов ПАВ, активная основа добавки – катионное поверхностно-активное вещество (КПАВ) на основе имидазолинов. В качестве методов исследования были выбраны:

1. скорость капиллярной пропитки водой обработанной гидрофобизирующей добавкой в течение 16 часов (стандартные условия);
2. фильтрационный эксперимент, выполненный на насыпных моделях на установке CFS-700 производства фирмы Vinci Technologies (температура 20°C).

В первую очередь проводились испытания возможности создания гидрофобной пленки на моделях пористой среды – капиллярах, заполненных песком и насыпных моделях. Результаты определения изменения смачиваемости песка в капиллярах, обработанных раствором гидрофобизирующей добавки (ГФД) в дистиллированной воде представлены на рисунке 3.

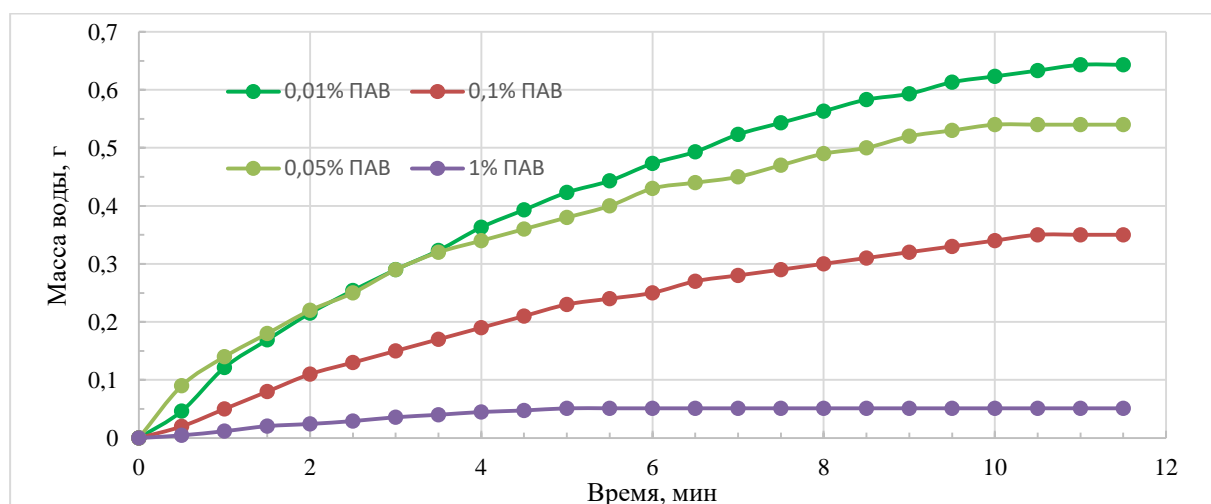


Рисунок 1. Определение кинетики капиллярной пропитки

По результатам, представленным на рисунке 3, можно сделать вывод, что обработка раствором данной ГФД способно полностью изменить смачиваемость гидрофильной среды – из-за процесса гидрофобизации и невозможностью воды поступать в пористую среду под действием капиллярных сил. Дальнейшие исследования проводились на насыпной модели, состоящей из песка (95% масс.) и монтмориллонитовой глины (5% масс.). Эксперимент проводился в 3 этапа: определение исходной проницаемости по раствору KCl (10% масс.) – 39,58 мД, закачке 1 порового объема раствора ГФД (5% масс.) и определение конечного относительного перепада. Результаты эксперимента представлены на рисунке 4.

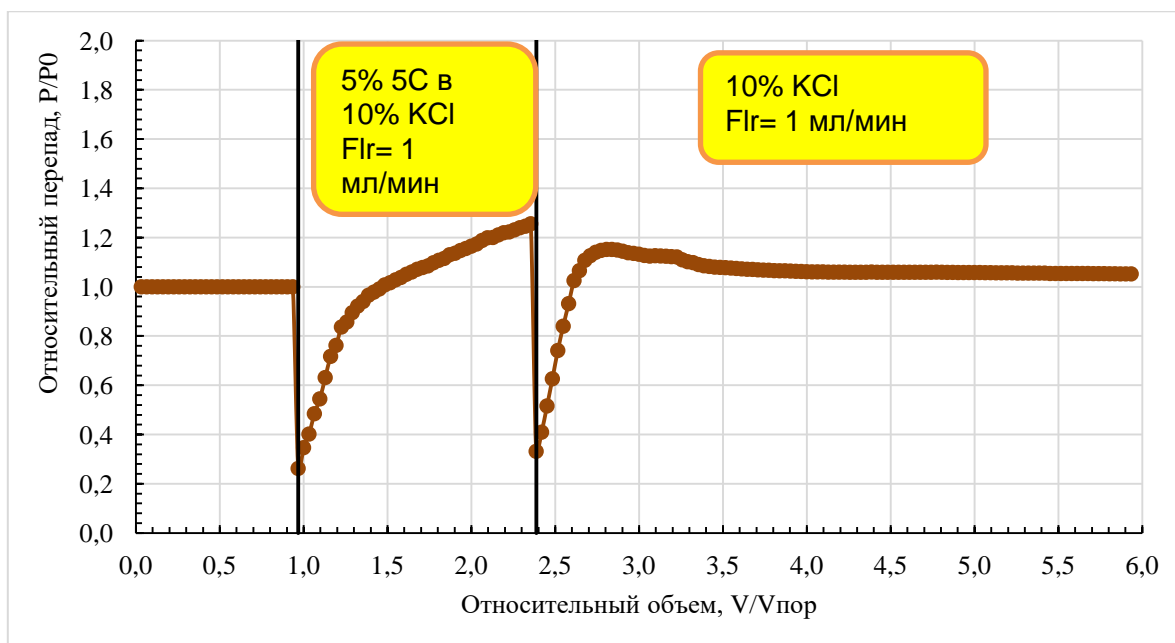


Рисунок 2. График зависимости относительного перепада давления от относительного объема закачки флюидов

Как можно заметить, в течение закачки одного порового объема 10% (масс.) КСl наблюдается рост относительного перепада давления, что может быть вызвано капиллярными силами, направленными против гидродинамического давления во время замещения раствора ПАВ водной средой. Максимальный остаточный фактор сопротивления составляет 1,152, конечный установившийся – 1,052. Конечный фактор сопротивления обусловлен процессами адсорбции ПАВ на поверхности среды и снижению проницаемости.

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что данная гидрофобизирующая добавка способна эффективно изменять смачиваемость гидрофильных поверхностей и может применяться в различных технологических жидкостях, применяемых в интенсификации нефтедобыче для увеличения капиллярных давлений для водной фазы и снижения для углеводородной фазы.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению № 075-15-2020-936 в рамках программы развития НЦМУ.

Научный руководитель: д.т.н., доцент Л.Ф. Давлетшина

МИРЗАЕВ О.О., АЛИЕВ Ф.А.
Казанский (Приволжский) федеральный университет

**ВНУТРИПЛАСТОВОЕ КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ГИДРИРОВАНИЕ
УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ПРИ ПАРОТЕПЛОВЫХ МЕТОДАХ ДОБЫЧИ
ВЫСОКОВЯЗКИХ НЕФТЕЙ И ПРИРОДНЫХ БИТУМОВ**

MIRZAEV O.O., ALIEV F.A.
Kazan Federal University

**IN-SITU CATALYTIC HYDROGENATION OF CARBON DIOXIDE DURING
STEAM-BASED RECOVERY OF HEAVY OIL AND NATURAL BITUMEN**

Актуальность исследования. В последнее десятилетие наблюдается быстрый рост концентрации углекислого газа в атмосфере. Углекислый газ считается самым вредным парниковым газом, который приводит к изменению климата. Достижение цели чистого нулевого уровня выбросов при устойчивом энергоснабжении требует инновационных разработок улавливания углекислого газа и его превращения в полезные химические продукты, такие как синтетический газ, метанол, диметиловый эфир, олефины, ароматические соединения, углеводороды и высшие спирты, а также топлива. Малоизученным является внутрипластовая утилизация CO_2 , за исключением его хранения в истощенных залежах нефти и газа или соленых водоносных формаций. Процесс внутрипластовой конверсии CO_2 важен не только для уменьшения содержания выбросов, но и для создания новых технологий добычи высоковязких нефтей и природных битумов, которые в настоящее время извлекаются в основном паровыми технологиями.

Основной целью работы является исследование процесса каталитического гидрирования углекислого газа в условиях паротеплового воздействия для создания парогазовой технологии освоения нетрадиционных углеводородных ресурсов. При закачке парогазовой смеси в залежи создаются уникальные условия для химической конверсии CO_2 с образованием метана и легких алканов. Продукты реакции гидрирования очень чувствительны к условиям проведения реакции (температура, давление и продолжительность реакции) и используемому катализатору. Предпочтительными продуктами реакции каталитического гидрирования являются легкие алканы, которые выступают в роли как хороших растворителей для снижения вязкости нефти, так и эффективных доноров водорода. Они являются ключевыми источниками при облагораживании высоковязких нефтей. Непрореагировавший с водородом CO_2 обладает высокой смешиваемостью с нефтью и растворившись в ней повышает ее подвижность. Таким образом, процесс внутрипластового каталитического гидрирования CO_2 позволяет значительно уменьшить количество антропогенного CO_2 - газа в атмосфере и увеличить коэффициент извлечения нефти.

Объектом исследования служила высоковязкая нефть Ашальчинского месторождения с вязкостью 2992 мПа·с.

В качестве катализатора гидрирования выбрали прекурсоры катализатора на основе никеля, подробный метод синтеза которого был ранее нами опубликован [1]. Моделирование процесса каталитического гидрирования углекислого газа в условиях паротеплового воздействия было проведено в реакторе высокого давления (Parr Instruments, США) при различных температурах в течение 48 ч. В автоклав загружали смесь нефти и воды с массовым соотношением 70:30. Затем добавляли таллат никеля,

предварительно растворенного в растворителе с массовым соотношением 1:1. Содержание активной формы катализатора по металлу составляло 0,2 %масс. Ячейку автоклава продували CO₂ чтобы избавиться от кислорода и только после закачивали углекислый газ с первоначальным давлением 10 бар. Нагревали автоклав до нужной температуры.

Результаты исследования показали, что каталитическое гидрирование CO₂ при 200°C протекает менее интенсивно, чем при 300°C. По результатам исследования состава газовой шапки модельной смеси газовым хроматографом (ГХ), всего 6 %об. CO₂ было вовлечено в процесс каталитического гидрирования, тогда как при 300°C данный показатель достигает около 60% (таблица 1). Основные газообразные продукты конверсии углекислого газа это C1-C4 с преобладанием метана. Наличие CO в продуктах может свидетельствовать о протекании обратной реакции водяного газа, которая в литературе рассматривается как альтернативный способ получения легких углеводородов из углекислого газа [2].

Таблица 1. Состав газов после экспериментов при 200 и 300°C

Образцы	Выход газа после эксперимента при 200 °С, объемный процент (%)									
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	H ₂	CO ₂	N ₂	O ₂	CO	Др.
200С	0,02	0,006	0,095	0,044	0,0006	94,82	3,56	0,41	-	0,86
300С	2,46	0,462	0,421	0,130	0,1777	89,28	4,68	0,87	0,25	0,32
350С	26,09	7,681	3,792	1,448	0,6701	42,65	5,96	0,82	0,32	5,34

Также был проведен анализ группового состава нефти (рисунок 1) после парогазовой обработки по методу SARA-анализа (ASTM D 4124-09) с целью выявления перераспределения фракций и образования легких алканов. Под воздействием парогазовых факторов в присутствии катализатора никеля наблюдается значительные изменения в содержании смол. С увеличением температуры воздействия, их содержание снижается. Продукты деструкции смол содержатся во фракциях насыщенных и ароматических углеводородов. Незначительное увеличение содержания асфальтенов можно объяснить процессами их полимеризации вследствие потери периферийных заместителей.

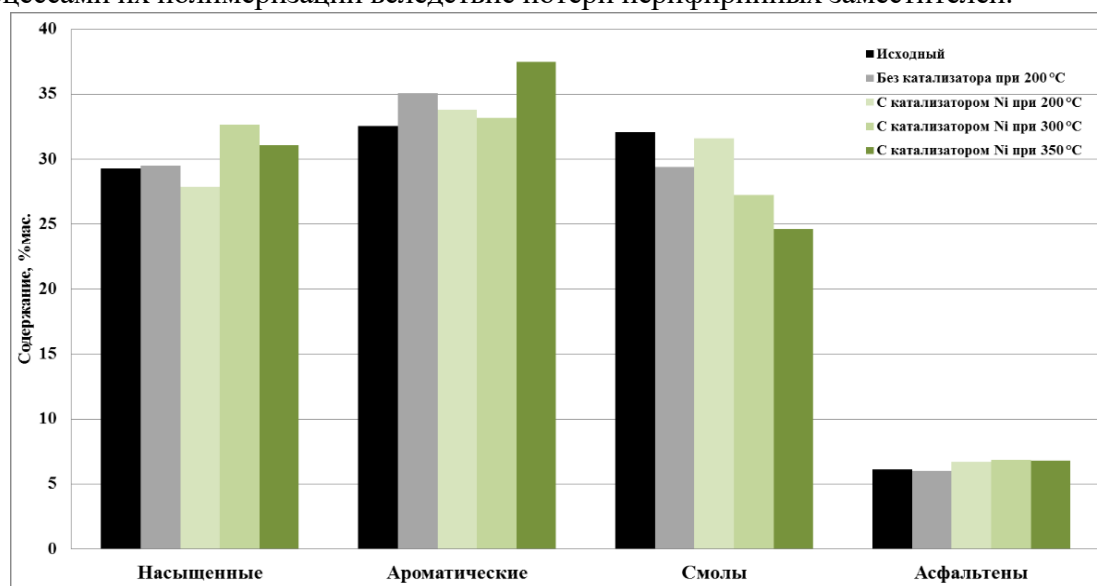


Рисунок 1. Результаты SARA анализа

По данным ГХ-МС анализа насыщенных углеводородов, содержание низкомолекулярных n-алканов (C10-C20) после парогазового воздействия при 200°C

увеличилось на 50%. Наилучшие результаты были зафиксированы после эксперимента при 300°C, где содержание C10-C20 н-алканов увеличилось почти на 90%, предположительно в результате каталитического гидрирования CO₂.

Таблица 2. Данные по ГХ-МС

	Исходный	С катализатором Ni при 200°C	С катализатором Ni при 300°C
н-алканы C10-C20	6,30	9,45	11,80
н-алканы C21-C34	20,80	15,58	19,12

Образования легких алканов и преобразования в основном фракций смол приводит к необратимому снижению вязкости нефти почти на 60%. Это коррелирует с содержанием группового состава нефти.

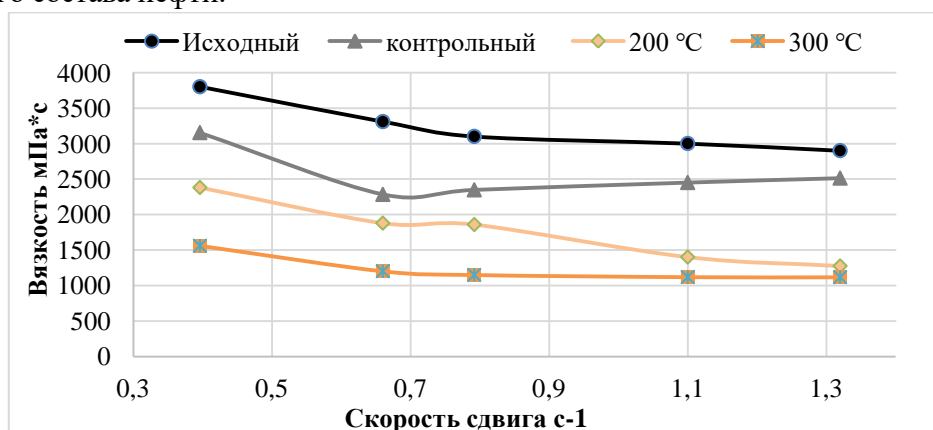


Рисунок 2. Зависимость вязкости от скорости сдвига

Таким образом, совместная закачка CO₂ и пара является перспективным методом внутрипластовой утилизации CO₂ и перспективным подходом по модификации существующих паровых технологий, который обеспечивает глубокую конверсию нефти и значительно увеличивать степень снижения вязкости нефти. Выполненные работы являются первой попыткой к обоснованию возможности широкого применения каталитического гидрирования углекислого газа в условиях паротепловой обработки пласта.

Список литературы:

1. Vakhin, A. V. et. all. Extra-heavy oil aquathermolysis using nickel-based catalyst: Some aspects of in-situ transformation of catalyst precursor // *Catalysts*. – 2021. – Т. 11. – №. 2. – С. 189.
2. Елецкий П.М. Облагораживание тяжелого нефтяного сырья в присутствии воды / Елецкий П.М., Соснин Г.А., Заикина О.О., Кукушкин Р.Г., Яковлев В.А. // *Журнал Сибирского Федерального Университета*. – 2017. – Т. 4. – С. 545–572.
3. Shafer W. D. Increased CO₂ hydrogenation to liquid products using promoted iron catalysts / W. D. Shafer, G. Jacobs, U. M. Graham, H. H. Hamdeh, B. H. Davis // *Journal of Catalysis*, – 2019. – V. 369. – P. 239-248.
4. Gao P. Direct conversion of CO₂ into liquid fuels with high selectivity over a bifunctional catalyst / P. Gao, S. Li, X. Bu, S. Dang, Z. Liu, H. Wang, L. Zhong, M. Qiu, Ch. Yang, J. Cai, W. Wei, Y. Sun // *Nature Chemistry*, – 2017. – V. 9(10). – P. 1019–1024.

Научный руководитель: к.т.н., доцент А.В. Вахин

МОТОВИЛОВ П.А.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

ЦИФРОВИЗАЦИЯ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ: БАЗОВЫЕ ПОДХОДЫ К ИНТЕГРИРОВАННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ

MOTOVILOV P.A.

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

DIGITALIZATION IN OIL AND GAS INDUSTRY: BASIC APPROACHES TO INTEGRATED MODELING

Нефть и природный газ, в наше время, играют важную роль в мировой экономике. Для лучшего планирования и уменьшения рисков необходимы точные модели прогнозирования будущих уровней производства в отрасли. Моделирование залежей углеводородов стало незаменимым инструментом в нефтегазовой промышленности. Целью данной работы является обзор и детальное изучение применения инструментов интегрированного моделирования на предприятиях нефтегазовой отрасли, которое в результате дает технологический и экономический эффект.

Сегодня информационные технологии используются в большинстве отраслей. В результате в нефтегазовой отрасли ИТ-технологии используются на каждом этапе бизнес-операций, от бурения до транспортировки углеводородов.

Основная задача ИТ-технологий в добыче углеводородов заключается в снижении затрат на добычу природных ресурсов, то есть необходимо разрабатывать месторождение таким образом, чтобы максимально использовать запасы углеводородов. В данной статье мы рассмотрим использование инструментов комплексного и гидродинамического моделирования на нефтегазодобывающих предприятиях и рассмотрим возможные результаты внедрения данной технологии.

Роль моделирования в отрасли

Движение флюидов в системе пласта — чрезвычайно сложный и часто непредсказуемый процесс. Чтобы понять, а главное, предсказать поведение движения жидкости, необходимо смоделировать это движение.

Моделирование относится к процессу построения модели, которая будет отражать движение жидкости в реальной системе пласта. Модели могут быть как физическими, воспроизводящими пласт в лабораторных условиях, так и математическими (гидродинамика).

Благодаря интеграции моделирования в промышленность производство может быть более быстрым и с меньшим количеством ошибок, хотя основным преимуществом является возможность создания автоматизированных производственных процессов.

Гидродинамическое моделирование

Гидродинамическое моделирование является инструментом, помогающим решать задачи специалистов в области разработки месторождений, а именно: оптимальное использование энергии пласта и рациональный выбор технических решений при разработке.

Гидродинамические модели необходимы для оценки и прогнозирования состояния коллектора и флюидов, насыщающих пласт. Кроме того, гидродинамические модели могут использоваться для управления процессом разработки. [1]

Интегрированное моделирование

Суть интегрированного моделирования заключается в создании системы, которая охватывает не только отдельно взятые элементы, а все месторождение в целом, т.е. интегрированная модель содержит в себе следующие элементы: пласт – скважина – система сбора и подготовки.

Благодаря использованию интегрированного моделирования происходит повышение эффективности работы нефтегазодобывающих предприятий, за счет автоматизации процессов эксплуатации месторождения. [2]

Программные продукты, применяемые для моделирования

Компания Petroleum Experts разработала ряд интегрированных программ моделирования разработки для моделирования полных производственных систем. Серия программ включает MBAL, PROSPER, GAP, RESOLVE и другие программы.

Программный пакет Tempest представляет собой расширенный симулятор, который позволяет инженерам быстро моделировать, распараллеливать и анализировать результаты 2D и 3D. Он спроектирован так, чтобы легко вмещать большие модели и тысячи скважин, и даже в сложных конфигурациях параллельные симуляции предоставляются в стандартной комплектации.

tNavigator предоставляет широкий спектр инструментов для выполнения рабочих процессов моделирования, включая интерпретацию сейсмических данных, корреляцию скважин, приложения для структурного моделирования, фацимальное и петрофизическое моделирование, а также расчеты объемов. [3]

Применение технологии на предприятии

Основным нормативным документом, используемым для качественного подбора мероприятий, является методология «Модель ограничений».

Основные задачи документа:

1. определение граничных условий каждой модели компонента,
2. сопоставление значений расчета каждого компонента,
3. определение по статической диаграмме максимально возможного

оперативного производственного потенциала оптимизационного мероприятия.

Другими словами, у каждого компонента интегрированной системы есть ограничения:

Для модели-компонента пласт – давление насыщения;

Для модели-компонента скважина – минимальные и максимальные значения частоты вращения вала ПЭД для скважины механизированного фонда, либо максимальные и минимальные размеры штуцера на устье скважины;

Для модели-компонента ССiT – максимальное значение коллекторного давления и максимальная скорость потока жидкости.

Наложением границ друг на друга получается максимальный операционный производственный потенциал – изменение дебита жидкости и нефти.

Совместно с технологическим и геологически отделом рассмотрены все оптимизационные мероприятия на условия, не отраженные в методике МО.

Как пример: после рассмотрения данного перечня возможностей согласована 1 оптимизация на фонде, а именно увеличение частоты вращения вала ПЭД скважины.

По предварительным расчетам, используя определённые методики Компании рассчитан ожидаемый технологический и экономический эффект (5000+ тонн дополнительно добытой нефти за 2022 г.)

Список литературы:

1. Гладков Е.А. Геологическое и гидродинамическое моделирование месторождений нефти и газа: учебное пособие // Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 99 с.
2. Применение программных продуктов моделирования для решения практических задач разработки нефтегазоконденсатных месторождений // Учебное пособие Пермь, 2016 172 с.
3. Р.Р. Исмагилов, М.М. Хасанов, Ю.В. Максимов Интегрированная модель для комплексного управления разработкой и обустройством месторождений // Нефтяное хозяйство 2014. № 12. С. 74–76.

Научный руководитель: старший преподаватель Р.З. Гулиев

НЕСЧАДИМОВ Р.А.

Тюменский индустриальный университет

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ДОБЫЧИ НЕФТИ ПРИ СОВМЕСТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЛАСТОВ

NESHCHADIMOV R.A.

Industrial University of Tyumen

DEVELOPMENT OF THE SOFTWARE FOR OIL PRODUCTION ALLOCATION IN COMMINGLED PRODUCTION OF RESERVOIRS

Представленная работа посвящена выбору оптимальной методики разделения добычи нефти и жидкости при совместной эксплуатации нескольких пластов и её реализации в виде программного продукта.

На многопластовых месторождениях с целью повышения экономической эффективности разработки и сокращения капитальных затрат несколько продуктивных пластов могут совместно разрабатываться одной сеткой скважин [1]. При использовании такого подхода возникает необходимость определения доли каждого из продуктивных пластов в общей добыче скважин. Разделение добычи необходимо для планирования геолого-технических мероприятий (ГТМ) и локализации остаточных запасов. Существует несколько методик разделения добычи, но единого и общепринятого подхода для решения данной задачи нет.

Целью первого этапа работы являлось проведение анализа существующих методик разделения добычи и выбор методики, применение которой возможно в условиях имеющихся промысловых данных. Цель второго этапа заключалась в разработке на основании выбранной методики программного продукта для разделения добычи.

Достоверно определить долю добычи из каждого продуктивного пласта при совместной эксплуатации возможно с помощью компоновок одновременно-

раздельной добычи (ОРД) и при проведении промысловых исследований (дебитометрии), но использование ОРД ограничено по причине высокой стоимости, а охват фонда исследованиями часто оказывается достаточно низким для выполнения разделения по каждой скважине. Поэтому в сложившихся условиях необходимо использовать расчётные методы разделения.

Был проведён анализ существующих методик разделения добычи, выявлены их преимущества и недостатки. Основным недостатком многих методик заключается в высоких требованиях к исходной информации, которая не всегда доступна в достаточном объёме [2,3]. В качестве оптимальной методики для реализации в программном продукте выбрана методика, основанная на использовании коэффициента kh (k – проницаемость, h – перфорированная нефтенасыщенная толщина).

Программный продукт «WellAllocation» написан на языке программирования C# и содержит более 1000 строк кода. Программный продукт написан на языке программирования C# и содержит более 1000 строк кода. В актуальной версии реализованы функции:

1. загрузка исходных данных из таблиц Excel (добыча нефти и жидкости, геолого-физическая характеристика продуктивных пластов, данные о перфорации, данные ПГИ, характеристики обводнения пластов);
2. деление добычи с учётом ПГИ или без учёта ПГИ по выбору пользователя;
3. три методики определения обводнённости каждого из продуктивных пластов;
4. визуализация результатов расчёта в виде графиков;
5. выгрузка результатов расчёта в MS Excel.

Тестовые расчёты были выполнены на 6 скважинах одного нефтяного месторождения ХМАО – Югры. Сопоставление деления добычи пропорционально kh и на основании ПГИ показывает высокую сходимость, отклонение по добыче нефти в среднем составляет не более 6,7 %. Было выполнено сопоставление возможностей «WellAllocation» с программными продуктами, позволяющими выполнить распределение добычи (Tempest, Eclipse, tNavigator, MBAL).

При дальнейшей реализации проекта запланировано: тестирование программного продукта на большем количестве скважин, подача заявки в программу «Старт», внедрение опции для подключения баз данных, внедрение опции для одновременного расчёта разделения закачки и добычи.

Проект реализуется в рамках программы «УМНИК» при поддержке Фонда содействия инновациям.

В результате выполнения работы проведён анализ существующих методик разделения добычи при совместной эксплуатации пластов. Методика, основанная на применении коэффициента kh , выбрана для реализации в виде программного продукта. Разработан программный продукт для разделения добычи и выполнены тестовые расчёты на 6 скважинах одного нефтяного месторождения ХМАО – Югры. Проект реализуется в рамках программы «УМНИК» при поддержке Фонда содействия инновациям.

Вклад участников работы:

Мулявин Семён Фёдорович: общее руководство.

Валеева Диана Рустамовна: программирование, тестирование программного продукта.

Нещади́мов Роман Александрович: инициация проекта, анализ существующих методик разделения добычи, тестирование программного продукта.

Список литературы:

1. Мулявин С.Ф. Основы проектирования разработки нефтяных и газовых месторождений. Учебное пособие. Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. 24 с.
2. Сорокин А. В., Войтов О. В., Мулявин С. Ф. Аналитическая методика раздела продукции по совместным скважинам // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2008. № 4. С. 34-39.
3. Грезин А. В. Подходы к распределению отборов и закачки по совместно эксплуатируемым пластам многопластового месторождения // Нефтепромысловое дело. 2020. № 10. С. 60-67.

Научный руководитель: д.т.н., профессор С.Ф. Мулявин

ОКУНЕВ А.В., БОНДАРЕНКО А.В., КУНШИН А.А.
Санкт-Петербургский горный университет

РАЗРАБОТКА СКВАЖИННОГО КЛАПАНА-ОТСЕКТЕЛЯ И ОБОСНОВАНИЕ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ В СРАВНЕНИИ С ТРАДИЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ ГЛУШЕНИЯ СКВАЖИН

OKUNEV A.V., BONDARENKO A.V., KUNSHIN A.A.
Saint Petersburg Mining University

DEVELOPMENT OF SUBSURFACE SAFETY VALVE AND JUSTIFICATION OF ITS EFFECTIVENESS IN COMPARISON WITH TRADITIONAL METHODS OF WELL KILLING OPERATIONS

Одной из основных проблем в современной нефтедобывающей промышленности является сохранение естественных фильтрационно-емкостных свойств продуктивных пластов. От этого во многом зависит возможность осуществления более полной выработки запасов углеводородов [2]. Однако в процессе эксплуатации скважин требуется периодическое проведение различного рода подземных ремонтных работ. Одной из подготовительных операций перед проведением капитального и текущего ремонта скважин является глушение скважин, которое в большинстве случаев представляет собой замещение скважинной жидкости на закачиваемую технологическую жидкость (ТЖ).

Согласно проведенному литературно-патентному обзору, исследования, заключающиеся в разработке новых технологий глушения скважин для требуемых условий их применения, ведутся в трех основных направлениях [1]:

- разработка традиционных жидкостей глушения, обеспечивающих требуемое давление на забое и сохранение фильтрационных характеристик призабойной зоны пласта;
- разработка блокирующих составов, обеспечивающих предотвращение прорыва газа и поглощения жидкости глушения с целью сохранения фильтрационных характеристик ПЗП;

- разработка технических устройств, позволяющих проводить подземный ремонт скважин без глушения скважины.

К сожалению, традиционные методы глушения скважин, применяемые на подавляющем большинстве разрабатываемых месторождений, оказывают существенное негативное воздействие на породы-коллекторы (рис.1), снижая их продуктивность.



Рисунок 1. Виды воздействия ТЖ на продуктивный пласт

Альтернативой традиционному методу глушения, заключающемуся в закачке технологической жидкости в ствол скважины, является применение забойных клапанов-отсекателей для проведения подземного ремонта. Данные клапаны-отсекатели зарекомендовали себя в качестве более эффективной технологии, которая позволяет:

- исключить попадание жидкости глушения в продуктивный пласт;
- снизить затраты на ремонт скважины за счет сокращения времени на глушение, освоение и вывод скважины на режим;
- снизить расходы на приготовление, транспортировку и закачку за счет уменьшения требуемого количества технологической жидкости;
- сократить потери нефти, связанные с ухудшением фильтрационных характеристик ПЗП при глушении скважины;
- предотвратить возможные газонефтеводопроявления и открытые фонтанирования.

Несмотря на заявленные преимущества рассматриваемой технологии, применение забойных клапанов-отсекателей имеет ряд недостатков, выявленных при практическом опробовании существующих разработок и существенно ограничивающих ее широкое промышленное применение [3]:

- необходимость использования технологической жидкости, закачиваемой с устья скважины для активации клапана-отсекателя;
- невозможность автоматического перекрытия продуктивного пласта;
- невозможность обеспечения доступа к забою оборудования для проведения геофизических исследований и обработки призабойной зоны пласта.

В данной работе предлагается разработанный авторами скважинный клапан-отсекатель для проведения подземного ремонта скважин (рис.2). Представленная модель позволяет исключить выявленные недостатки существующих разработок за счет использования специального толкательного механизма, активирующего клапанный узел по команде, подаваемой со станции управления, и приводимого в действие погружным электродвигателем центробежного насоса, а также за счет применения двух клапанов и стингера, имеющего верхний и нижний интервалы

перфорации, которые осуществляют сообщение между подпакерной и надпакерной зонами для обеспечения движения пластовых флюидов от забоя к устью скважины.

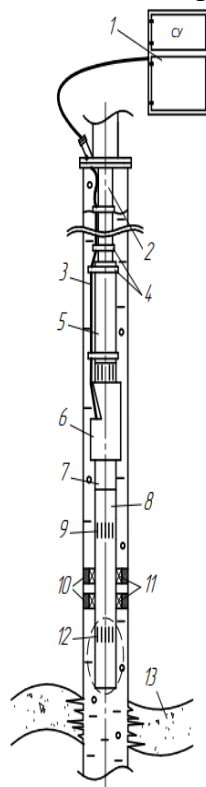


Рисунок 2. Клапана-отсекатель для подземного ремонта скважин: 1 – станция управления; 2 – насосно-компрессорные трубы (НКТ); 3 – силовой кабель; 4 – крепежные пояса; 5 – электропогружной насос; 6 – электродвигатель; 7 – толкательный механизм; 8 – стингер; 9 – верхний интервал перфорации стингера; 10 – пакерная компоновка; 11 – запорный элемент; 12 – нижний интервал перфорации стингера; 13 – продуктивный пласт

В отличие от аналогов, представленная конструкция имеет возможность автоматического отключения продуктивной части пласта, позволяет беспрепятственно производить извлечение и ремонт подземного оборудования, а также осуществляет доступ технических средств к забою эксплуатируемой скважины. Все это позволяет сохранить естественные фильтрационно-емкостные свойства породы-коллектора, при этом никак не ограничивая функциональность проводимых технических мероприятий.

Список литературы:

1. Асфандриянов Х.А., Максutow Р.А. Нефтегазопрооявления и открытые фонтаны при эксплуатации скважин. –М.: Недра, 1986. – 231 с.
2. Барышников А.А., Паклинов Н.М. Управление продуктивностью скважин. – Тюмень: Издательский центр БИК ТюмГНГУ, 2015. – 16 с.
3. Кучурин А.Е., Кибирев Е.А., Кунакова А.М. Испытания клапанов-отсекателей для защиты продуктивных пластов от жидкостей глушения при смене установки электроцентробежных насосов на месторождениях ПАО «Газпром нефть» // РРОнефть. – 2019. - № 1. – С. 46-51.

Научный руководитель: к.т.н., доцент М.И. Кузьмин; к.т.н., доцент Д.В. Мардашов

ПОНОМАРЕВА А.
Санкт-Петербургский горный университет

**ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОЦЕССА МЕХАНИЗИРОВАННОЙ
ДОБЫЧИ НЕФТИ. ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПРЕДИКТИВНОЙ
АНАЛИТИКИ**

PONOMAREVA A.
Saint Peterburg Mining University

**DIGITAL TRANSFORMATION OF THE PROCESS OF MECHANIZED OIL
PRODUCTION. PREDICTIVE ANALYTICS INFORMATION SYSTEM.**

В рамках четвертой промышленной революции модернизируются все области нефтегазовой промышленности. Применение цифровых технологий и информационных баз данных позволяет нефтегазовым компаниям повышать показатели добычи, снижать количество практически любых типов аварийных ситуаций, а также наращивать эффективность операционной деятельности. Текущая структура фонда скважин на 94% состоит из скважин с установкой электроцентробежного насоса (УЭЦН), а значит возникает риск простоя оборудования по причине преждевременного отказа. Данная работа посвящена минимизации аварий (внутрисменных остановок)/отказов на основе использования информационной системы (ИС) предиктивной аналитики.

Сегодня основным погружным оборудованием скважин на месторождениях является установка электроцентробежного насоса. УЭЦН работает в сложных геологических и технологических условиях, системы управления передают большое количество параметров работы погружного оборудования в режиме реального времени. Анализ поступающей информации проводят сотрудники технологической службы. Несвоевременный анализ состояния оборудования скважин ввиду ручного труда (ежедневные рутинные операции по аналитике данных) сотрудников технологической службы является одним из факторов риска возникновения аварийных ситуаций.

На текущий момент в нефтедобывающих предприятиях работает реактивный подход к решению проблем аварий/отказов погружного оборудования. Такой подход основан на работе с последствиями, а не с их предупреждением (рисунок 1) и ведет к потере нефти от отказов и внутрисменных простоев, сокращению наработки на отказ погружного оборудования.

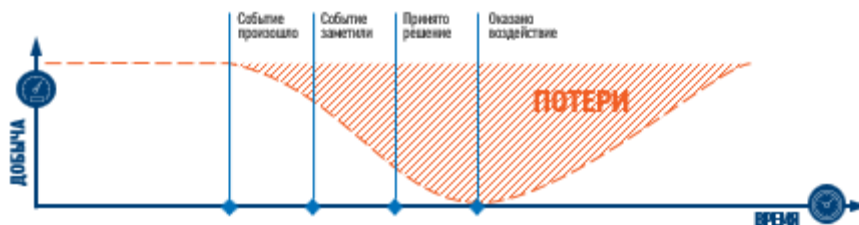


Рисунок 1. Реактивный подход

Одна нефтедобывающая Компания разработала информационную систему (ИС) на основе предиктивной аналитики по анализу работы насосного оборудования для добычи нефти. ИС учитывает динамическую и историческую информацию о работе скважины:

- геологические факторы (газ, вода, отложение солей и парафина),

- конструктивные (диаметр эксплуатационных колонн, кривизна скважин, исполнение узлов и деталей УЭЦН),
- характеристики скважин (продуктивность, история работы),
- характеристики насоса (текущая производительность, напор, подача, КПД, рабочий диапазон),
- динамические характеристики (динамический уровень, температура жидкости, забойное давление, вибрация установки, температура ПЭД) [1].

На основании сравнения текущих данных с историческими, по аналогии с нейронными сетями человеческого мозга, система прогнозирует потенциальные события, которые могут произойти с оборудованием и на основании накопленного опыта, формирует конкретные мероприятия по обслуживанию. Накопление опыта системы происходит непосредственно на объекте эксплуатации на реальных событиях, все предлагаемые мероприятия проходят экспертизу и затем заносятся в систему.

С помощью эффективной информационной системы производственные процессы смогут перейти к проактивному подходу (рисунок 2), когда на месторождениях будут предупреждать возможные аварии и отказы оборудования, а не бороться с их последствиями.

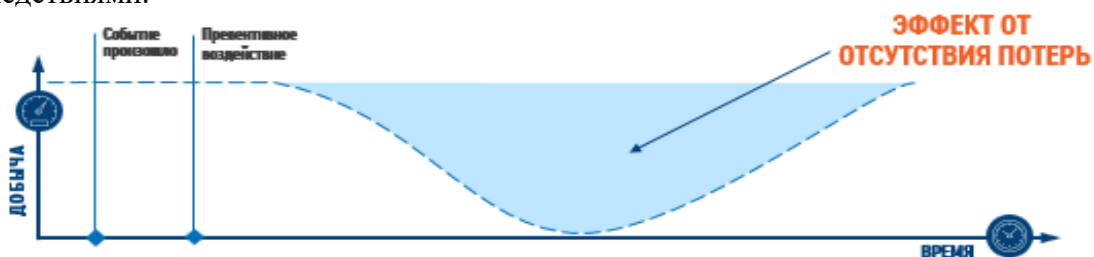


Рисунок 2. Проактивный подход

Информационная система успешно проходит промышленную эксплуатацию на трех месторождениях дочернего общества нефтедобывающей Компании. Запланировано тиражирование системы на других месторождениях Компании.

Дальнейшим развитием ИС станет проект «Автоматическое управление УЭЦН на основе искусственного интеллекта», который, используя технологию предиктивной аналитики и алгоритмы машинного обучения, позволит управлять режимами работы погружного оборудования без участия оператора с учетом всех осложнений эксплуатации месторождения.

Список литературы:

1. Герасимов Р.В. Цифровая трансформация процесса механизированной добычи нефти в ПАО «ГАЗПРОМ НЕФТЬ»/ М.И Кузьмин, П.С Муzychук, А.Н Умнов. – Текст: электронный// Инженерная практика. – 2021. – №7 – URL: <https://glavteh.ru/цифровая-трансформация-процесса-мех/> (дата обращения: 27.01.2022).
2. Павлов А. Цифровые технологии меняют облик российской энергетики. -Текст: электронный// Портал АСУТП.ру. – 2020. – URL: <https://asutp.ru/publikacii/2020/11/12/cifrovye-tehnologii-menjajut-oblik-rossijskoj-jenergetiki/> (дата обращения: 27.01.2022).
3. Отчет «Исследование рынка решений и технологий для реализации концепции «Безлюдное месторождение» J'son & Partners Consulting – декабрь.2019.

Научный руководитель: к.т.н, доцент М.И. Кузьмин

ПОРОШИНА С.Л., АСВИНОВА П.В.

Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого

УТОЧНЕНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ОБ ИСТОРИИ И СОСТОЯНИИ РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЕЛАРУСИ (НА ПРИМЕРЕ ЗАЛЕЖИ III БЛОКА БЕРЕЗИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)

POROSHINA S.L., ASVINOVA P.V.

Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoi

REFINEMENT OF PREVAILING IDEAS ABOUT THE HISTORY AND STATE OF FIELDS DEVELOPMENT STATUS (USING THE EXAMPLE OF THE RESERVOIR OF THE THIRD BLOCK OF THE BEREZINSKY FIELD)

Березинское месторождение открыто в 1975 году скважиной 3. В апреле 1977 года оно введено в пробную эксплуатацию, а в мае 1981 года – в промышленную разработку. По кровле межсолевых отложений III блок месторождения представляет собой антиклинальную складку, ограниченную со всех сторон разрывными нарушениями. Основные запасы нефти (более 80%) Березинского месторождения приурочены к залежи этого блока. Залежь массивная, сводовая, тектонически-ограниченная. Она находится на четвертой стадии разработки, характеризующейся постепенным снижением добычи нефти при продолжающемся увеличении обводненности продукции. Пластовое давление в залежи поддерживается посредством закачки в продуктивные пласты пресных вод.

Одной из наиболее важных особенностей данной залежи является широкое распространение образований вторичного галита в продуктивных коллекторах. Отмечающееся растворение данного минерала в пресных водах, которые закачиваются в продуктивные пласты для ППД, приводит к расширению объема фильтрационных каналов в процессе разработки залежи, увеличению пористости и проницаемости продуктивных пород [1]. Интенсивность проявления данного процесса должна в существенной мере зависеть от активности влияния закачиваемых вод и пластовых рассолов в заводнении различных участков залежи. Отмеченные особенности оказывают существенное влияние на характер разработки залежи и должны учитываться при создании и корректировке ее гидродинамической модели и подготовке новых проектных документов дальнейшей ее разработки. Однако до настоящего времени мониторинг процесса рассоления и изменения объема сети фильтрационных каналов по данной залежи не проводился.

Проведенный анализ сложившегося состояния дел свидетельствует о том, что решение обозначенной выше и ряда других нефтепромысловых задач может проводиться на основе гидрохимических методов контроля эксплуатации нефтяных месторождений, разработанных в последние годы в ГГТУ им. П.О. Сухого [2].

Анализ особенностей изменения химического состава попутных вод проводился нами путем построения графиков изменения их плотности в процессе эксплуатации всех добывающих скважин. Рассматривая эти графики (рисунок 1) отмечено, что для каждой из скважин характерен свой характер изменения данного показателя. Как правило, закономерное колебание плотности попутно добываемых с нефтью вод связано с особенностями эксплуатации скважин и разработки данного участка залежи. Обработка и интерпретация химических анализов попутных вод, согласующихся по

плотности, предлагается вести по методике Галит-1, а по выпадающим точкам, связанным с влиянием технологических обработок скважин путем подлива в них пресных вод, по методике Галит-1т [2].

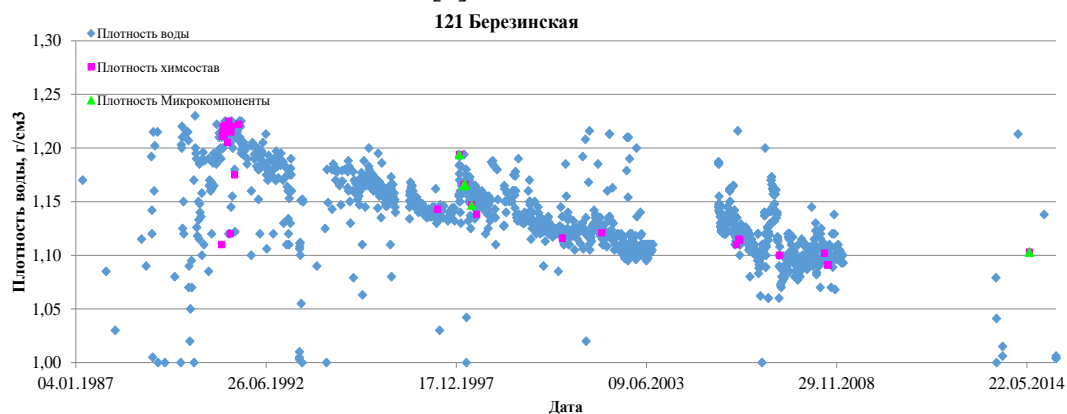


Рисунок 1. График изменения плотностей попутных вод скважины 121 Березинского месторождения в процессе ее эксплуатации

Результаты расчетов по названным методикам позволили оценить долевое участие пластовых рассолов (1-X) и закачиваемых вод (X) в попутно добываемых с нефтью водах, а также избыточное содержание в них хлорида натрия, сформированное за счет рассоления коллекторов, что важно знать при анализе и контроле разработки залежи. Обработка этих данных позволяет говорить о растущей роли закачиваемых вод в поддержании энергетики залежи (снижение средней величины 1-X) и снижении влияния законтурной области (рисунок 2).

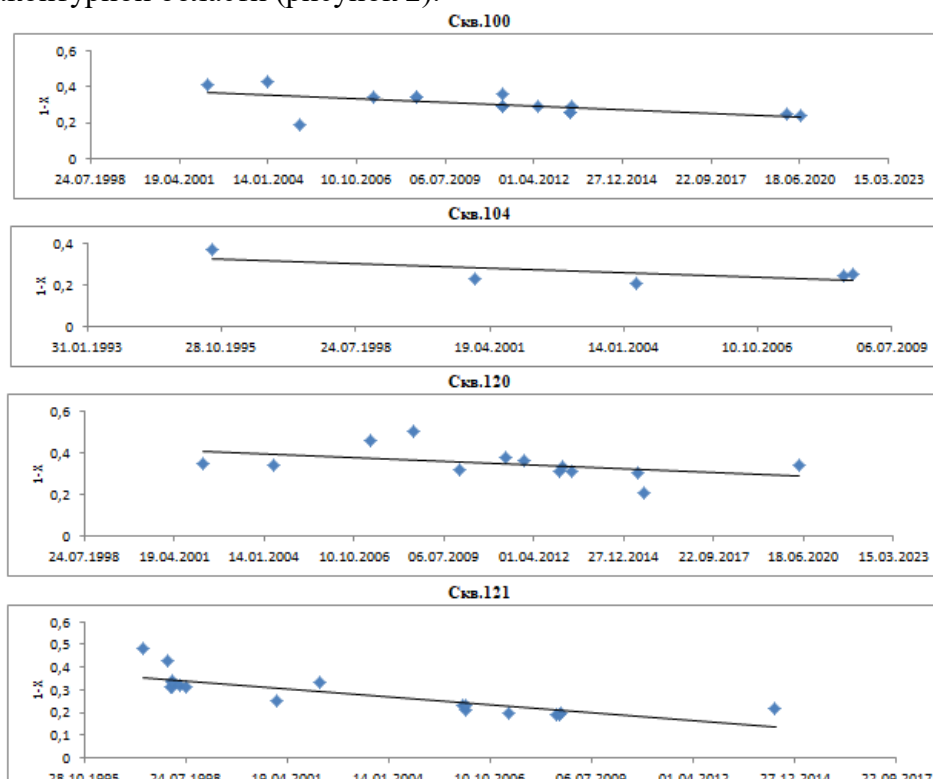


Рисунок 2. Изменение величины долевого участия пластовых рассолов в попутно добываемых водах Березинского месторождения

Общую картину долевого участия пластовых рассолов и закачиваемых вод в системе поддержания пластового давления в залежи и вытеснении нефти к добывающим скважинам можно получить из схематической карты долевого участия пластовых рассолов в попутно добываемых водах (рисунок 3). Анализируя представленную карту, следует отметить, что наибольшее влияние пластовых вод на энергетику продуктивных пластов и вытеснение нефти к забоям добывающих скважин отмечается в центральной части залежи. На остальной ее части вытеснение нефти практически полностью осуществляется закачиваемыми в продуктивные пласты пресными водами, что должно учитываться при построении и корректировке существующей гидродинамической модели рассматриваемой залежи нефти.

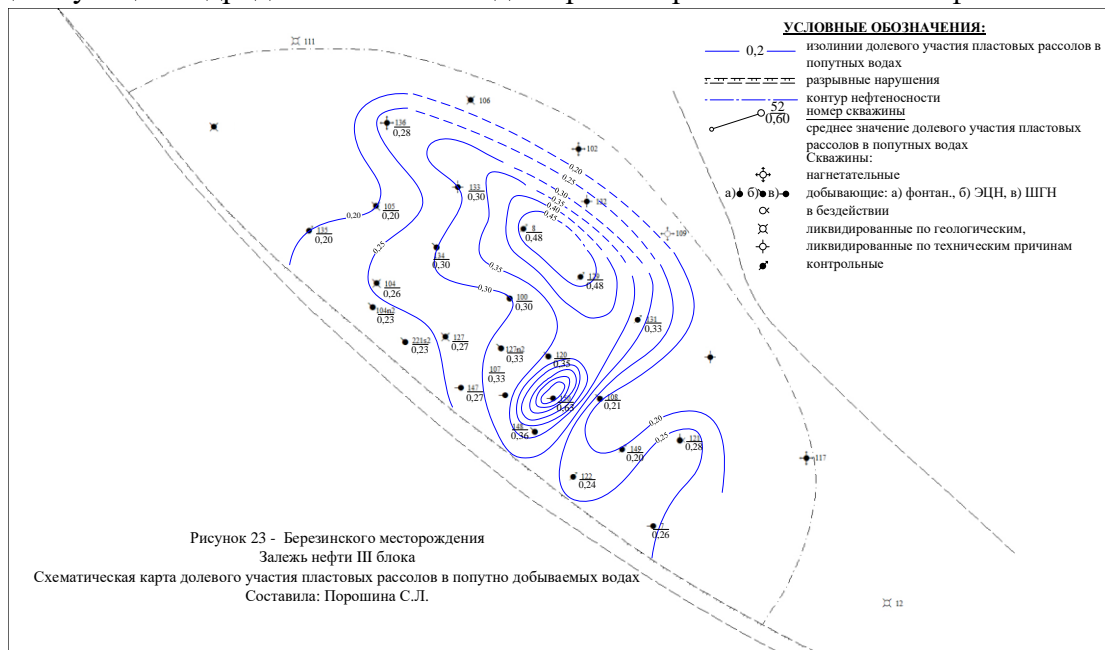


Рисунок 3. Залежь III блока Березинского месторождения. Схематическая карта долевого участия пластовых рассолов в попутно добываемых водах. Составила: Порошина С.Л.

Полученные результаты наших исследований позволяют говорить о целесообразности уточнения существующих представлений об истории и текущему состоянию разработки нефтяной залежи III блока Березинского месторождения по материалам детальных гидрохимических исследований. Отдельные, наиболее важные выводы проведенных гидрохимических исследований по анализу разработки рассмотренной залежи могут быть использованы для корректировки существующей гидродинамической модели этой залежи и при подготовке нового проектного документа дальнейшей ее разработки.

Список литературы:

1. Порошин, В.Д. Методы обработки и интерпретации гидрохимических данных при контроле разработки нефтяных месторождений / В.Д. Порошин, В.В. Муляк – М.: Недра, 2004. – 220 с.
2. Порошина, С.Л. К вопросу представительности данных о химическом составе попутных вод нефтяных месторождений Беларуси и методических приемах их обработки (интерпретации) // Літасфера. – 2021. – № 1 (54). – С. 58-70.

Научный руководитель: д. г.-м. н., доцент В.Д. Порошин

ПРОШУТИНСКИЙ М.С.
Санкт-Петербургский горный университет

ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМАХ ДОБЫЧИ НЕФТИ И ГАЗА

PROSHUTINSKIY M.S.
Saint Petersburg Mining University

CHEMICAL METHODS PREVENTION OF HYDRATE FORMATION IN OIL AND GAS PRODUCTION SYSTEMS

В работе проведен обзор проблемы прогнозирования образования газогидратных пробок в системах добычи нефти и газа и планирования мероприятий по предупреждению закупорки трубопроводов гидратными отложениями. Рассмотрены химические методы предупреждения гидратообразования, принцип действия термодинамических, кинетических ингибиторов гидратообразования, а также антиагломерантов. Описаны существующие гипотезы механизма гидратообразования в различных системах. Обозначена проблема подбора эффективных реагентов и дозировок для нефтяных дисперсных систем.

Актуальность исследования.

Подбор эффективных методов предупреждения гидратообразования в системах добычи нефти и газа является актуальной проблемой. Если для газовых месторождений имеется большой промышленный опыт применения химических методов (ингибирования) для предупреждения гидратных пробок, а также разработаны методики нормирования основных применяемых реагентов (метанола и гликолей), то для нефтяных месторождений, где поток содержит водную, нефтяную и газовую фазы, проблема выбора оптимальных ингибиторов и эффективных дозировок для предупреждения образования гидратных пробок не решена. Дозировки подбираются непосредственно в процессе эксплуатации и являются индивидуальными для каждого объекта, а изменение термобарических условий влечет за собой либо перерасход реагента, либо гидратообразование и, как следствие, подбор новой эффективной дозировки.

Целью исследования является анализ проблемы прогнозирования образования гидратных пробок, подбора реагентов, а также расчета их эффективных дозировок.

Основная часть.

Природные гидраты представляют собой кристаллические твердые вещества, в которых молекулы газа (гости) захватываются в полости кристаллической решетки, образованной молекулами воды (хозяином) [1,2]. Гидратообразование является одной из распространенных проблем добычи и транспортировки углеводородов как на чисто газовых, так и на нефтегазоконденсатных месторождениях.

Методы борьбы с техногенным гидратообразованием в системах добычи нефти и газа классифицируют на три основных группы – химические (ингибиторные), технологические (поддержание безгидратных режимов работы), физические (тепловые, физические поля, механические) [5]. Наиболее распространенными и технологичными, а иногда и безальтернативными являются химические методы.

В зависимости от принципа действия реагенты, применяемые в химических методах, подразделяются на термодинамические ингибиторы гидратообразования, кинетические ингибиторы гидратообразования и антиагломеранты. Термодинамические ингибиторы (метанол, гликоли, растворы солей), растворяясь в водной фазе, вступают в

химическую связь с молекулами воды и изолируют их от участия в структуре гидрата. Принцип действия кинетических ингибиторов заключается в том, что ингибиторы, попадая в поток, связываются с поверхностью гидрата, предотвращая значительное зарождение и рост в течение определенного периода времени. Антиагломеранты, применяемые для систем с преобладанием нефти, сорбируются на гидратных частицах, создавая «мостик» между нефтяной и водной фазой, тем самым препятствуя агломерации гидратированных капель воды и образованию гидратных пробок.

Процесс предупреждения гидратообразования в случае применения химических методов можно разделить на шесть основных этапов:

1. Сбор информации по объекту (термобарические условия эксплуатации, компонентный состав гидратообразующей смеси, минерализация попутно добываемой воды и другая необходимая информация);
2. Определение равновесных условий гидратообразования и наложение их на термобарический профиль системы, что позволяет определить участки, где потенциально возможно гидратообразование;
3. Определение механизма гидратообразования и оценка риска закупорки трубопровода или лифтовых труб гидратными отложениями;
4. Выбор оптимального реагента и определение методики нормирования;
5. Выбор оптимальных точек подачи реагента;
6. Оперативный контроль гидратообразования.

Одним из важнейших и малоизученных этапов для оценки образования гидратных пробок является определение механизма гидратообразования. В работе [3] рассматриваются четыре основных модели гидратообразования в зависимости от структуры потока и соотношения различных фаз в потоке:

Системы с преобладанием газа. В таких системах помимо газа присутствует небольшое количество конденсата, а также жидкости на водной основе. Гидратообразование происходит при прохождении потока газа через низинные скопления воды.

Газоконденсатные системы. В таких системах исключено образование «свободной» воды, а поток состоит из газа, содержащего пары воды и газового конденсата. Гидратообразование происходит на стенках трубы из паробразной воды.

Системы с преобладанием нефти. В таких системах вся вода эмульгируется в виде капель в нефтяной фазе и процесс гидратообразования происходит на границе «капля воды – нефть»;

Высокообводненные системы. В таких системах большая часть воды находится в неэмульгированном состоянии. Когда термобарические условия трубопровода входят в область гидратообразования начинается рост гидрата на всех возможных границах раздела, где вода и газ, в том числе растворенный в нефти, соприкасаются.

В системах с преобладанием газа и газоконденсатных системах на участках, находящихся в рискованной зоне гидратообразования (определяемые по этапу 2), с высокой вероятностью будет происходить закупорка трубопровода гидратной пробкой, скорость образования которой зависит от степени переохлаждения процесса и количества паробразной либо «свободной» воды. Для определения норм ингибиторов гидратообразования термодинамического типа (метанола и диэтиленгликоля) существует методика, разработанная специалистами ООО «Газпром ВНИИГАЗ» [6]. Основанием для подбора ингибиторов кинетического действия являются лабораторные исследования реагентов, в ходе которых определяются время задержки гидратообразования при различных дозировках реагентов и степени переохлаждения процесса.

В системах с преобладанием нефти и высокообводненных системах наложение термобарических условий системы на равновесные условия гидратообразования позволяет определить участки, на которых будет происходить процесс гидратообразования, но не дает ответа на вопрос о рисках образования гидратных пробок. Образующиеся гидратные частицы при определенных условиях могут транспортироваться в потоке, не создавая гидратных отложений. На данный процесс влияют такие факторы как скорость потока, обводненность и газовый фактор, вязкость нефти и другие [4]. Поэтому планирование применения химических методов и расчёт норм расхода реагента для таких систем осложняется особенностями механизма образования гидратных пробок, а рассчитываемые дозировки реагентов (на водную фазу) по существующим методикам требуют значительных объемов подачи ингибиторов, что значительно превышает фактические эффективные дозировки.

Результаты. Результатом данной работы является анализ современного состояния прогнозирования образования гидратных пробок в системах добычи нефти и газа, а также планирования применения химических методов для исключения риска образования отложений. В работе обозначена причина того, почему существующие подходы к расчету эффективных дозировок не применимы для систем с преобладанием нефти и высокообводненных систем.

Выводы. На сегодняшний день существуют четыре основные гипотезы механизма гидратообразования в системах добычи нефти и газа. Для газовых и газоконденсатных систем имеются разработанные методики по нормированию ингибиторов гидратообразования, эффективность которых подтверждается промышленными данными. Для систем с преобладанием нефти и высокообводненных систем определение риска закупорки трубопровода осложняется особенностями механизма образования гидратных пробок, поэтому процесс подбора эффективных реагентов и определение их дозировок расчётным методом требует дополнительных исследований. Для этого необходимо математическое описание процесса гидратообразования в подобных системах и понимание, на какие параметры системы и в какой степени влияет тот или иной тип реагента.

Список литературы:

1. Sloan E.D., Koh C.A. and Kohs C 2008 Clathrate Hydrates of Natural Gases (New York: CRC Press).
2. Gong J, Shi B and Zhao J 2010 Natural gas hydrate shell model in gas-slurry pipeline flow Journal of Natural Gas Chemistry 19 261-6.
3. Sloan E.D. Natural Gas Hydrates in Flow Assurance / Sloan D., Koh C., Sum K. and others // Oxford. – 2011. – 200 p.
4. Boxall, J., Davies, S., Nicholas, J., Koh, C. A., Sloan, E. D., Turner, D., and Talley, L., 2008, "Hydrate Blockage Potential in an Oil-Dominated System Study Using a Four Inch Flow Loop," Sixth International Conference on Gas Hydrates, Vancouver, QC, Canada.
5. Истомин В.А., Квон В.Г. Предупреждение и ликвидация газовых гидратов в системах добычи газа. ООО «ИРЦ Газпром». Москва: 2004, 506 стр.
6. СТО Газпром 3. 1-3-010-2008 Методика расчета норм расхода реагентов для газодобывающих предприятий ОАО «Газпром». 51 стр.

Научный руководитель: к.т.н., доцент И.Р. Раупов

САМОЙЛОВ В.А.

Самарский государственный технический университет

**МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ НА
ВЫСОКООБВОДНЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ С ЦЕЛЮ
ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ**

SAMOYLOV V.A.

Samara State Technical University

**REDESIGN OF THE FIELD PIPELINE SYSTEM AT HIGH-WATERCUT FIELDS
WITH THE PURPOSE OF ENERGY AND RESOURCE EFFICIENCY**

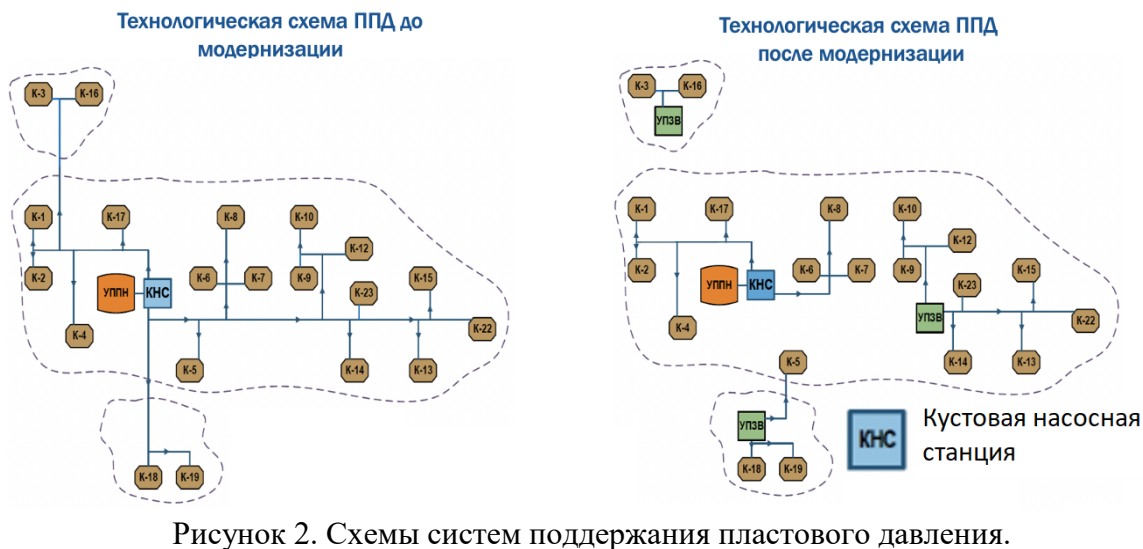
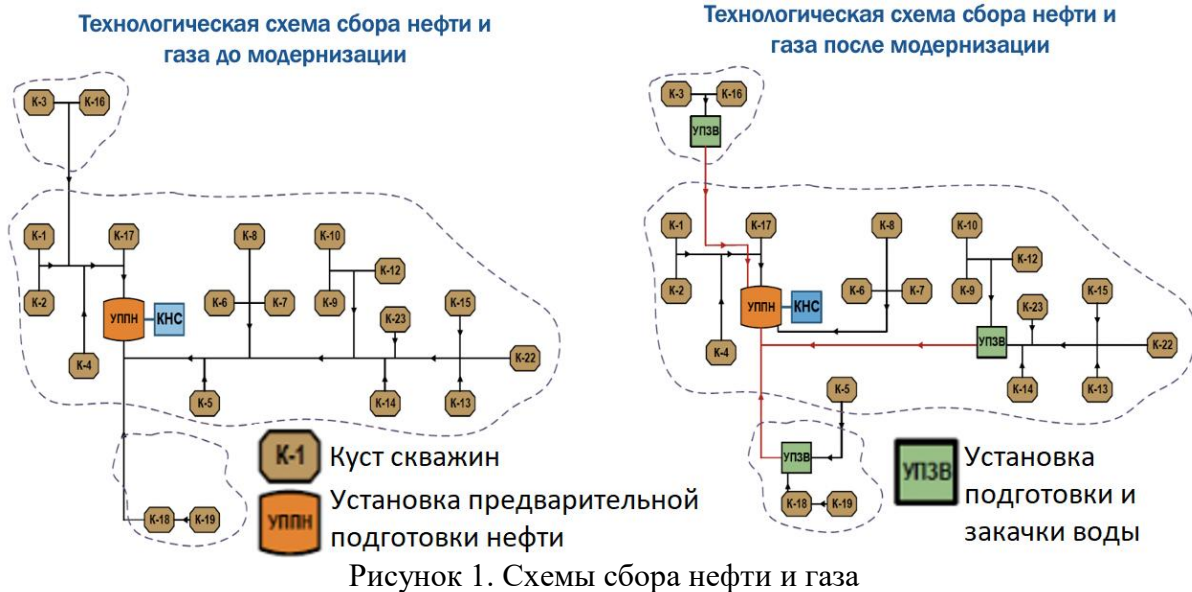
Согласно статистике Министерства энергетики РФ, с 2009 по 2019 года добыча увеличилась с 494,3 до 560,2 млн. тонн в год, что соответствует около 1,18% роста в год [1]. В 2020 году из-за пандемии добыча резко упала на 8,6% до 512,8 млн. тонн (уровень 2011 года), однако специалисты прогнозируют скорейшее восстановление спроса нефти на мировом рынке и дальнейший его рост.

Однако добыча данного объема нефти примерно на 90% осуществляется на старых месторождениях, введенных в эксплуатацию порядка 25 лет назад. Средняя обводненность этих месторождений составляет 90%. Соответственно, в 2019 году с добычей 560, млн. тонн нефти было также добыто, подготовлено и закачено обратно в пласт 3 млрд. 800 млн. кубометров попутной воды. Из-за роста обводненности скважинной продукции в системах промысловых трубопроводов также растет и давление, что зачастую приводит к аварийным ситуациям и порывам на промыслах. При критической обводненности (около 70%) водонефтяная эмульсия имеет максимальную вязкость, а соответственно прокачать такую жидкость становится сложнее [3]. В 2018 году было зафиксировано около 30 тыс. нарушений герметичности промысловых трубопроводных систем.

В качестве решения проблемы высокой обводненности скважинной продукции может быть рассмотрено размещение установок предварительного сброса пластовой воды небольшой производительности в непосредственной близости к скважинам с размещением на них насосов ППД, что показано на рисунках 1 и 2.

Целью исследования является снижение расхода жидкости по основным сборным коллекторам месторождения, уменьшение удельного энергопотребления на перекачку пластовой воды внутри месторождения, а также создание возможности замены части трубопроводов, по которым будет перекачиваться малообводненная нефть на трубы меньшего диаметра при капитальном ремонте промысловых трубопроводов на старом месторождении [2].

Исследования проводились путем моделирования системы сбора нефти и газа на одном из месторождений Самарской области в программе PIPESIM, а также с помощью аналитических расчетов трёхфазной смеси в коллекторе для подбора оптимального диаметра трубопровода с учетом структуры потока [4].



Оценить эффективность применения технологии предлагается с помощью параметра W . Данный параметр имеет размерность $\text{м}^3 \cdot \text{км} / \text{сут}$ (воды), то есть он обозначает сколько кубометров воды проходит через трубу длиной 1 километр за сутки.

$$W = \sum Q * \frac{b}{100} * L,$$

где Q – расход по жидкости в секции трубопровода ($\text{м}^3 / \text{сут}$)

b – обводненность продукции (%)

L – длина секции трубопровода (км)

Оценим общую эффективность технологии, просуммировав параметры W систем сбора нефти и водоводов и найдя коэффициент эффективности φ :

$$\varphi = \frac{W_{\text{до}} - W_{\text{после}}}{W_{\text{до}}} * 100,$$

$$W_{\text{до}} = W_{\text{до}}^{\text{сбор}} + W_{\text{до}}^{\text{вода}},$$

$$W_{\text{после}} = W_{\text{после}}^{\text{сбор}} + W_{\text{после}}^{\text{вода}},$$

$$\varphi = \frac{(63445 + 429233) - (16857 + 57372)}{(63445 + 429233)} * 100 = 84,93 \%$$

Расчеты показали, что сброс пластовой воды в непосредственной близости от скважин существенно снижает нагрузки на транспортную систему высокообводненного месторождения и уменьшает операционные затраты на добычу нефти, что является сегодня актуальной задачей для нефтегазовой отрасли Российской Федерации.

Результаты исследований могут быть использованы нефтедобывающими компаниями, эксплуатирующими высокообводненные месторождения в целях модернизации систем промысловых коммуникаций (трубопроводов и установок предварительного сброса пластовой воды) при капитальном ремонте (замены трубопроводов) на старых месторождениях.

Список литературы:

1. Министерство энергетики Российской Федерации// Статистика по добыче сырой нефти с учетом газового конденсата за период 01.01.2019 – 31.12.2019 [Электронный ресурс] // URL: <https://minenergo.gov.ru/activity/statistic> (дата обращения: 10.02.2020).
2. Гусев В.В. Ресурсосберегающая технология сбора, подготовки и закачивания пластовой воды. - Деловой журнал NEFTEGAZ.RU. 2020.№ 2 (98). - 28-30 с.
3. Шацкая Л.А., Кичигина А.А., Кочетков Н.Е. Влияние обводненности скважинной продукции на параметры перекачки. - Проблемы функционирования систем транспорта. 2020. - 202-205 с.
4. Коршак А.А., Нечваль А.М. Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов: Учеб. пособия для ВУЗов. - СПб: Недра, 2008. – 367-399 с.

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент Л.А. Шацкая

СХАБИЦКИЙ Г.А.

Тюменский индустриальный университет

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ ОТОРОЧЕК КРАЕВОГО ТИПА НА РЕЖИМЕ ИСТОЩЕНИЯ И С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ ПОДДЕРЖАНИЯ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ

SKHABITSKIY G.A.

Industrial university of Tyumen

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE DEVELOPMENT OF OIL RIM OF THE REGIONAL TYPE IN THE DELEASE MODE AND WITH THE USE OF FORMATION PRESSURE MAINTENANCE SYSTEMS

В работе описывается суть и применение авторской методики для экспресс – оценки эффективности разработки нефтяных оторочек на режиме истощения или же с применением система поддержания пластового давления.

Нефтяной оторочкой или подгазовой зоной является нефтяная часть нефтегазовой залежи, в которой объем нефтяной части меньше объема газовой шапки [1]. Нефтяные оторочки составляют 13% от трудноизвлекаемых запасов в Российской Федерации, причем извлечено менее 2% от общих запасов газонефтяных залежей. С учетом сложного геологического строения нефтяной части залежи, а также

небольшими толщинами, повышение коэффициента извлечения нефти (КИН) не всегда увенчается успехом и в среднем составляют около 15%, когда приемлемый средний КИН для разработки месторождений составляет 30-40%.

Актуальность исследования заключается в том, что на этапе оценки при проектировании месторождения существуют множество геолого-физических неопределенностей, которые не позволяют оперативно осуществить выбор оптимальной системы разработки. Методика позволяет произвести оценку эффективности разработки с минимальным объемом геолого-физических данных, оценить условия, при которых применение систем поддержания пластового давления будет наиболее эффективно, а также способствует снижению рисков выбора менее эффективной системы разработки, которые могли бы повлечь за собой потенциальные потери прибыли для компании в будущем. Целью работы являлось выявление фундаментальных геолого-физических факторов, оказывающих наибольшее влияние на разработку нефтяных оторочек краевого типа, а также непосредственно разработка инструмента для экспрес-оценки эффективности разработки нефтяных оторочек. Методами исследования являлись выявления аналитических и математических зависимостей, а также расчет экономических показателей, посредством гидродинамического моделирования в программном обеспечении TNavigator.

В работе рассматривается разработка месторождения на режиме истощения и с применением систем поддержания пластового давления с обратной закачкой газа в процентном соотношении от общего объема добытого газа (20%,40%,100%). Для построения геологических и гидродинамических синтетических моделей были выбраны геолого-физические характеристики на основе анализа месторождений-аналогов, ключевые факторы в гидродинамических моделях варьировались. По результатам гидродинамического моделирования была выведена математическая формула, с помощью которой строились варианты инструментов для оценки эффективности разработки, характеризующиеся определенным значением М-фактора (отношение объема газовой шапки к объему нефтяной оторочки) и углом наклона нефтяной оторочки. На рисунке 1 приведен пример применения инструмента для оценки рентабельности разработки реального месторождения «Х» характеристики которого представлены в таблице 1.

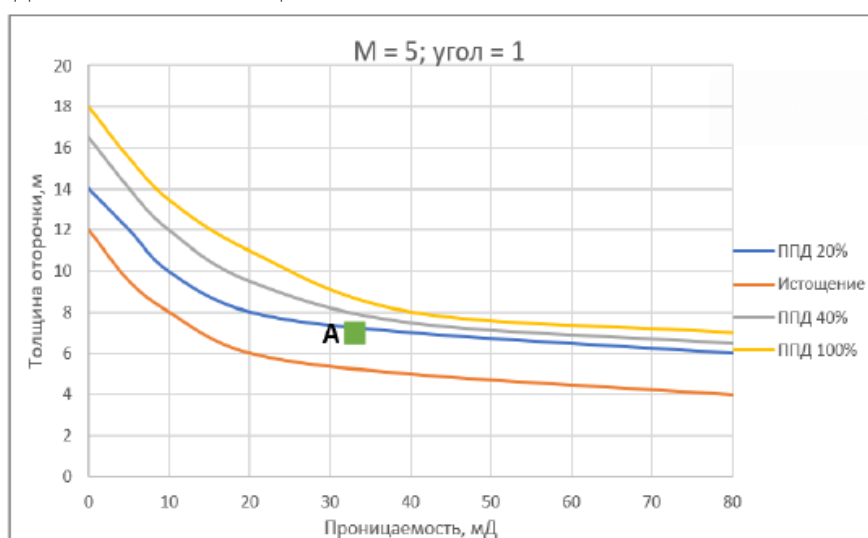


Рисунок 1. Палетка для оценки эффективности разработки краевой оторочки с большой газовой шапкой

Таблица 1. Характеристики реального месторождения с краевой нефтяной оторочкой «Х»

Параметры	Х
М-фактор	5
Угол	1
Проницаемость, мД	33
Толщина нефтяной оторочки, м	7
Рентабельность	Да

Принцип работы палетки заключается в том, что по оси Х откладывается значение проницаемости на месторождении, по оси Y – толщина нефтяной оторочки. Кривые соответствуют нулевому значению NPV.

В результате оценки объекта с помощью авторской палетки, видно, что месторождение рентабельно для разработки на режиме истощения, что полностью совпадает с данными в таблице, следовательно, палетка может быть применена для оценки эффективности разработки.

Разработанный инструмент позволяет оперативно оценить возможность разработки нефтяных оторочек на режиме истощения и с применением ППД, а также выявить геолого-физические условия, при которых разработка будет наиболее эффективна на этапе оценки месторождения с минимальным объемом геолого-физических данных.

Соавтором данной работы является студент Высшей Инженерной Школы EG на базе Тюменского Индустриального Университета Пархоменко Дмитрий Валерьевич.

Список литературы:

1. Полковников Ф.И. Оптимизация технологии разработки тонких нефтяных оторочек: дисс. ... м-ра:ТюмГУ – 2017 – 77 с.
2. Olamigoke, Olugbenga, and Anthony Peacock. "First-Pass Screening of Reservoirs with Large Gas Caps for Oil Rim Development." Paper presented at the Nigeria Annual International Conference and Exhibition, Abuja, Nigeria, August 2009, pp. 21.

Научный руководитель: к.т.н. Р.Т. Апасов

**МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЛАНЦА ПРИ ЭФФЕКТИВНОЙ РАЗРАБОТКЕ
СЛАНЦЕВОГО ГАЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО CO₂**

XU ZIJIE
Chongqing University

**SHALE MECHANICAL PROPERTY IN THE EFFICIENT DEVELOPMENT OF
SHALE GAS USING SUPERCRITICAL CO₂**

1. Introduction

The paper provides a theoretical basis for predicting the effect of shale reservoir stimulation using the supercritical CO₂ (Sc-CO₂) fracturing technique.

Shale mechanical properties are critical factors determining Sc-CO₂ fracturing stimulation efficiency[1]. Many researchers had performed on the variation of shale mechanical characteristics (mainly focused on compressive strength properties) by Sc-CO₂[2], and found that when shale was exposed to the Sc-CO₂ environment, the mechanical properties of shale would be changed because of the reaction between Sc-CO₂ and shale.

It is worth mentioning that cracks formed through shale fracturing are usually a tensile failure[3], and mode I fracture toughness is a critical parameter which defines the rock's resistance to tensile crack propagation. However, few studies have been conducted on mode I fracture toughness of shale after Sc-CO₂ saturation.

In this study, we present the influences of Sc-CO₂ saturation on shale fracture toughness and crack properties.

2. Methodology and result

Longmaxi Shale was adopted as the research object, and Sc-CO₂ saturation tests were carried out. The three-point bending test, the high-speed camera and acoustic emission monitoring techniques were used to investigate the effects of Sc-CO₂ on the tensile characteristics and failure modes of shale. In addition, X-ray diffractometer (XRD) and scanning electronic microscope (SEM) were performed to characterize mineral compositions and microstructure. This study aims to reveal the influences of Sc-CO₂ saturation on mode I fracture toughness and crack propagation of shales.

Three-point bending tests showed that after Sc-CO₂ saturation, mode I fracture toughness of shale was decreased by 22.1%. High-speed camera images indicated that cracks propagated in an arc with a certain angle under untreated conditions. On the other hand, after Sc-CO₂ saturation, mode I crack directly propagated straight along the artificial pre-crack direction (Fig.1).

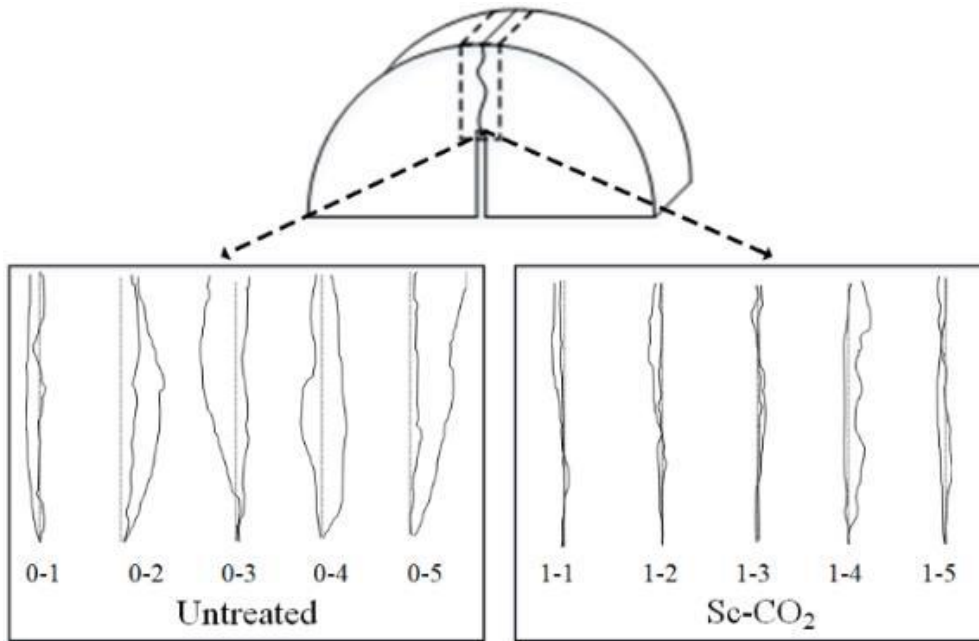


Figure 1. Fractures traces witnessed on shale specimen surfaces under different treatment conditions

SEM was applied to analyze the trace and surface of cracks revealing the mechanism of this phenomenon. As shown in Fig. 2, the failure process revealed that intergranular crack was the main fracture mechanism of untreated shale. On the contrary, mode I cracks not only propagated around mineral grains, but also propagated through mineral grains after Sc-CO₂ saturation, causing transgranular cracks. Complicated fracture mechanisms (transgranular, intergranular and mutual coupling cracks) in shale after saturation with Sc-CO₂ reduced the deviation degree of mode I crack and fracture toughness under external force. Fracturing crack was more capable of penetrating the reservoir because of lower fracture toughness, which can provide theoretical reference for Sc-CO₂-enhanced shale gas recovery.

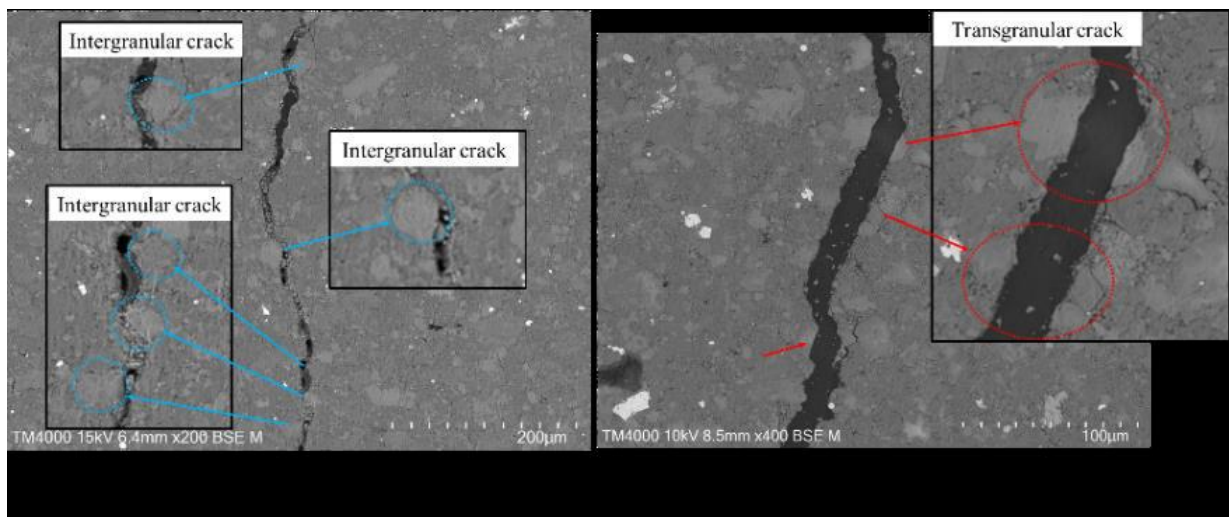


Figure 2. The fracture trace of shale specimens under different treatment conditions

3. Conclusions

We perform three-point bending and SEM test and found that the main fracture mechanism of mode I crack was different under different treatment, which provides the theoretical basis for the shale reservoir hydraulic stimulation design.

Contributions by each author in this study: Yiyu Lu: Resources; Zijie Xu: Writing-Original draft preparation Investigation; Jiren Tang: Visualization; Yunzhong Jia: Methodology; Honglian Li: Reviewing.

List of references:

1. Lu Y, Xu Z, Li H, Tang J, Chen X. The influences of super-critical CO₂ saturation on tensile characteristics and failure modes of shales. *Energy*. 2021;221:119824.
2. Lu Y, Chen X, Tang J, Li H, Zhou L, Han S, et al. Relationship between pore structure and mechanical properties of shale on supercritical carbon dioxide saturation. *Energy*. 2019;172:270-85.
3. Feng G, Kang Y, Sun Z, Wang X, Hu Y. Effects of supercritical CO₂ adsorption on the mechanical characteristics and failure mechanisms of shale. *Energy*. 2019;173:870-82.

Supervisor of studies: Professor Yiyu Lu

ТРОФИМОВ Д.А.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛАСТОВЫХ НЕФТЕЙ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ ПРИ НЕДОСТАТКЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

TROFIMOV D.A.

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

METHODS FOR CALCULATION OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF RESERVOIR OILS IN THE ARCTIC ZONE OF RUSSIA WITH A LACK OF LABORATORY STUDIES

В работе рассматриваются методы расчета физических свойств пластовых нефтей арктической зоны России при недостатке лабораторных исследований.

Недостаточность и неточность информации о свойствах пластовых флюидов являются серьёзными проблемами для проведения оценки запасов и прогнозов добычи нефти и напрямую влияют на экономическую оценку проектов, вплоть до принятия решения о бурении дополнительной поисково-разведочной скважины, увеличивая капиталовложения, пролонгации сроков реализации или полного закрытия проекта в связи с утратой рентабельности [1].

Измерения свойств пластовых флюидов весьма сложны, и их результаты зависят как от работы оборудования, так и от компетентности людей, поэтому причин возникновения ошибок весьма много. Основная проблема при отборе флюида в том, что существует возможность того, что проба по всем своим характеристикам может не представлять собой типовой образец отбираемого пластового флюида. Также важно, чтобы проба сохранила свои свойства в процессе ее отбора, транспортировки и

хранения до самого выполнения лабораторных измерений. Важно не допустить, чтобы некачественные образцы могли привести к ошибкам в определении физических свойств [1].

Ошибки при отборе проб могут быть различными: неверный интервал отбора, и, как следствие, отбор пробы в двухфазном потоке, неполная очистка от буровых и технологических жидкостей, разгерметизация пробоотборника вследствие попадания частичек механических примесей на клапана или ошибки в регистрации данных.

При невозможности провести качественный отбор флюида либо при недостатке данных, актуальным решением является моделирование физических свойств пластовых флюидов по известным данным. В течение последних 60 лет учёными во всём мире было предложено много корреляционных зависимостей для определения PVT-свойств. Этим вопросом занимались Лазатер, Аль-Шаммаси, Веларде, Аль-Мархун, Фаршад, Картоатмоджо, Глазо, Бергман, Фитцджеральд, Чу и Коннэлли, Бегтз и Робинсон, Васкес и многие другие.

Для составления корреляционных зависимостей были использованы свойства пластовой нефти из различных нефтедобывающих регионов мира. В химическом составе таких пластовых нефтей могут отражаться региональные особенности, по которым нефти можно отнести к парафиновым, нафтеновым или ароматическим. Ввиду различий в химическом составе, корреляционные зависимости, составленные по региональным образцам, преимущественно одного базового химического состава, могут не позволить получить удовлетворительные результаты при применении к пластовым нефтям из других регионов. [2]

В данной работе были исследованы нефти месторождений Тимано-Печорской нефтегазонасной провинции. Целью работы является получение зависимостей, применимых к данному региону и выбор тех корреляций из уже полученных ранее, которые будут иметь наибольшую сходимость с данными.

Важнейшими физическими свойствами нефти являются плотность, вязкость, газосодержание, объёмный коэффициент и другие.

Проанализировав данные исследований месторождений Тимано-Печорской нефтегазонасной провинции, в число которых входят Харьягинское, Южно-Хыльчюуское, Возейское, Усинское, Баганское и Пашнинское, были построены корреляционные зависимости параметров нефтей. На рисунке 1 приведены графики зависимости плотности пластовой нефти от ее газосодержания.

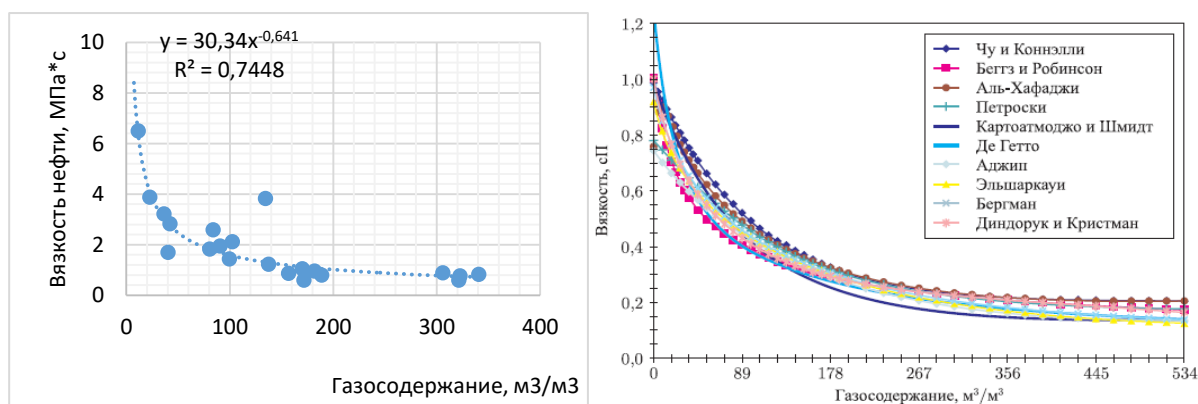


Рисунок 1. Корреляционная зависимости вязкости нефти от газосодержания

На рисунке 2 приведён график зависимости плотности пластовой нефти от объёмного коэффициента.

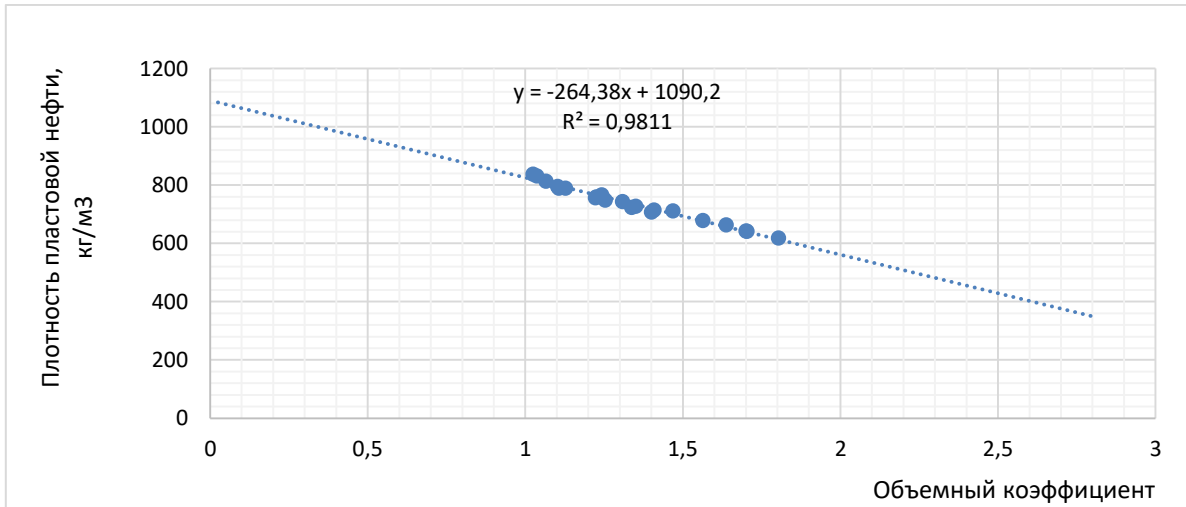


Рисунок 2. Зависимость плотности нефти от объёмного коэффициента

Видно, что данные лежат на одной линии, что означает их высокую сходимость. На рисунке 3 приведена зависимость вязкости пластовой нефти от температуры.

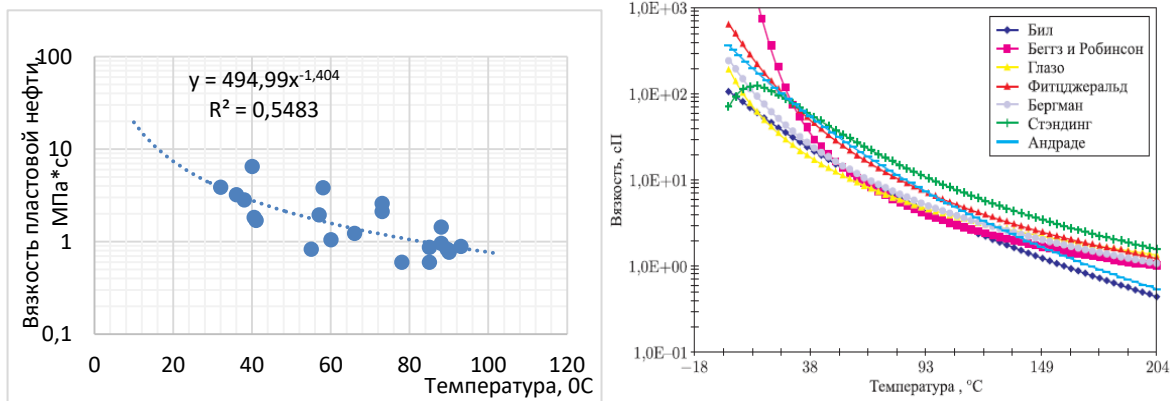


Рисунок 3. Корреляционная зависимости вязкости нефти от температуры

На рисунке 4 приведена зависимость газосодержания от давления насыщения.

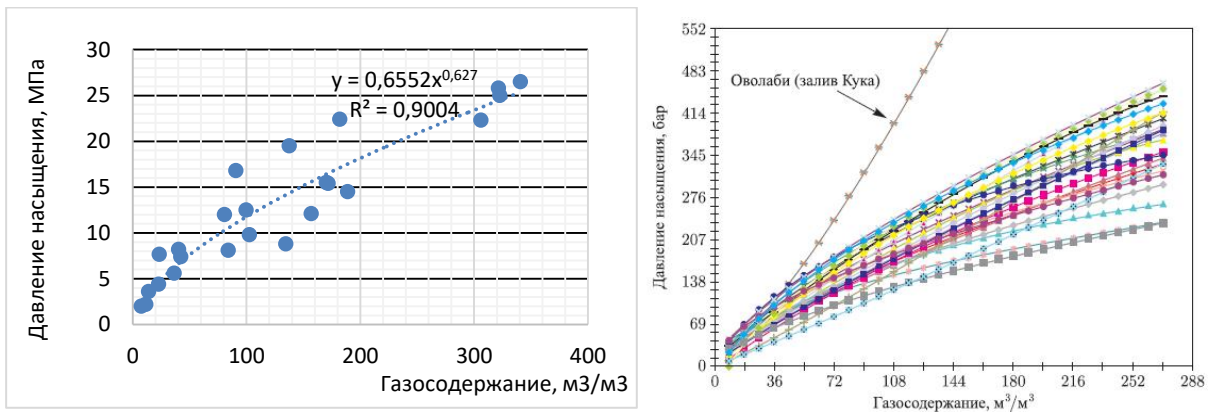


Рисунок 4. Корреляционные зависимости давления насыщения и газосодержания

Получив зависимости, можно сравнить их с уже имеющимися корреляциями [3,4,5,6]. Можно отметить, что построенные по данным Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции корреляции имеют достаточно высокую сходимость, а также то, что их можно использовать наравне с имеющимися, для прогнозирования параметров нефтей при ограниченных лабораторных исследованиях. Таким образом, расширив базу данных исследования, можно более точно оценить корреляционные зависимости для сравнения с имеющимися корреляциями или для их уточнения в условиях рассматриваемой зоны.

Список литературы:

1. Лобанов А.А., Федоровский С.А., Промзелев И.О., Лукашов А.Н., Тихомиров Е.В., Жуков В.В., ООО «Газпромнефть НТЦ», Коваленко В.А., САФУ имени М.В. Ломоносова, Мошарев П.А., МГУ имени М.В. Ломоносова, Золотухин А.Б., РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. - Системный подход к управлению качеством глубинных проб пластовых нефтей в современных условиях // Недропользование XXI век. – 2020г. - №2А май 2020. – 66с.
2. Справочник инженера-нефтяника. Том I. Введение в нефтяной инжиниринг. – М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2014. – 1136 с.
3. Al-Shammasi A. A. “A Review of Bubblepoint Pressure and Oil Formation Volume Factor Correlations”, SPEREE (April 2001) 146.
4. Alatefi, S.; Almeshal, A.M. A New Model for Estimation of Bubble Point Pressure Using a Bayesian Optimized Least Square Gradient Boosting Ensemble. Energies 2021, 14, 2653.
5. Beggs H.D. and Robinson J.R. «Estimating the Viscosity of Crude Oil Systems», JPT (September 1975) 1140.
6. Standing M.B. Volumetric and Phase Behavior of Oil Hydrocarbon Systems, ninth edition, SPE, Dallas (1981).

Научный руководитель: к.т.н., доцент М.Б. Дорфман

УСТИНСКАЯ К.Ю., МЕРЗЛЯКОВ К.К.
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОНСТАНТЫ СКОРОСТИ РЕАКЦИИ ОТ
ДАВЛЕНИЯ ЕЕ ПРОВЕДЕНИЯ**

USTINSKAYA K.U., MERZLYAKOV K.K.
Gubkin Russian State University of Oil and Gas

**RESEARCH OF THE DEPENDENCE OF THE REACTION RATE CONSTANT ON
THE PRESSURE**

В условиях ухудшения структуры запасов основных месторождений нефтяной отрасли широко используемым методом интенсификации нефтедобычи остается кислотная обработка [1]. Актуальным вопросом этой области является моделирование процесса фильтрации кислотного состава через породу, позволяющее оптимизировать процесс подбора растворов для обработки, а также предварительно оценить их эффективность, в том числе в масштабах призабойной зоны пласта.

В проводимом исследовании модель фильтрационного эксперимента планируется задавать в симуляторе CMG GEM. Одним из параметров, необходимых для моделирования, является константа скорости реакции, соответствующая условиям проведения опыта. В силу различного минерального состава горных пород и разнообразия функциональных добавок, входящих в рецептуру кислотных растворов, нахождение констант скорости растворения, соответствующих необходимому давлению и температуре, в литературных данных затруднительно. Потому целью данной работы являлась демонстрация подхода определения констант скоростей реакции k в условиях изменяющегося внешнего давления P и постоянной температуры T . Изучались степени растворения породы гравиметрическим методом при $P=1, 10, 20, 30$ атм и температуре $T=25^{\circ}\text{C}$ и ее кинетика растворения – волюметрическим при стандартных условиях. Продолжительность опытов t составляла 30 минут. Для исследования были взяты образцы карбонатной породы и эквивалентные их размерам объемы 5% (масс.) водных растворов соляной кислоты.

В ходе изучения кинетики растворения породы была получена зависимость изменения степени растворения α от времени t . Были рассмотрены первые 7 минут реакции, как наиболее активные. Указанная зависимость была представлена в виде: $-\ln(1-\alpha)=f(t)$ (отображена на рисунке 1), которая, в свою очередь, была выведена из уравнения Аврами-Колмогорова-Ерофеева:

$$\alpha = 1 - \exp(-k * t^n), \quad (1)$$

$$-\ln(1 - \alpha) = kt^n \quad (2)$$

где n – коэффициент при временном параметре, характеризующий режим течения реакции, диффузионный или кинетический [2].

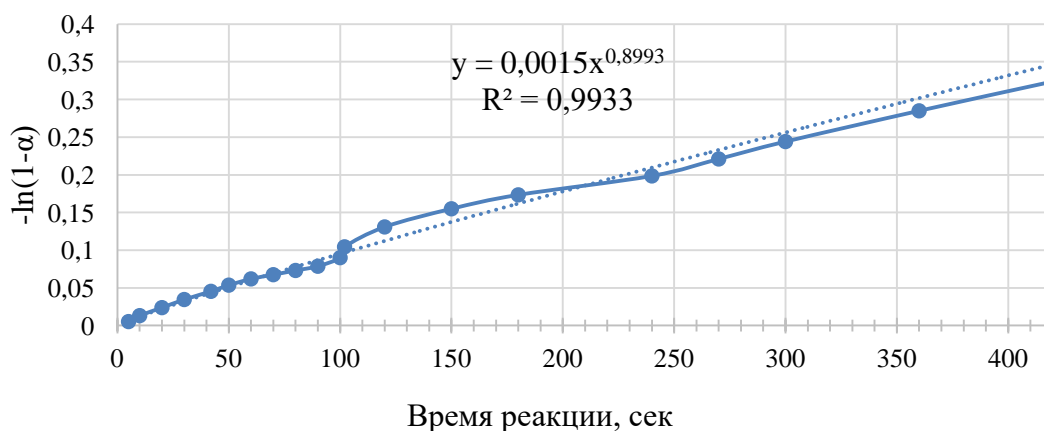


Рисунок 3. График зависимости $-\ln(1-a)=f(t)$

Уравнение, описывающее степенную линию тренда, $y = 0,0015x^{0,8993}$, дает представление о показателе $n=0,8993$. Используя указанную величину, а также полученные в гравиметрическом методе степени растворения, по уравнению (1) были найдены соответствующие константы скорости реакции (результат на рисунке 2).

Для полученной зависимости константы скорости реакции от давления была построена экспоненциальная зависимость, позволяющая определять вышеуказанный параметр для более высоких давлений.

Таким образом, в работе на примере химически чистой карбонатной породы и 5% (масс.) раствора кислоты был показан алгоритм расчета константы скорости реакции, который может быть применен к реальным кернам и кислотным составам.

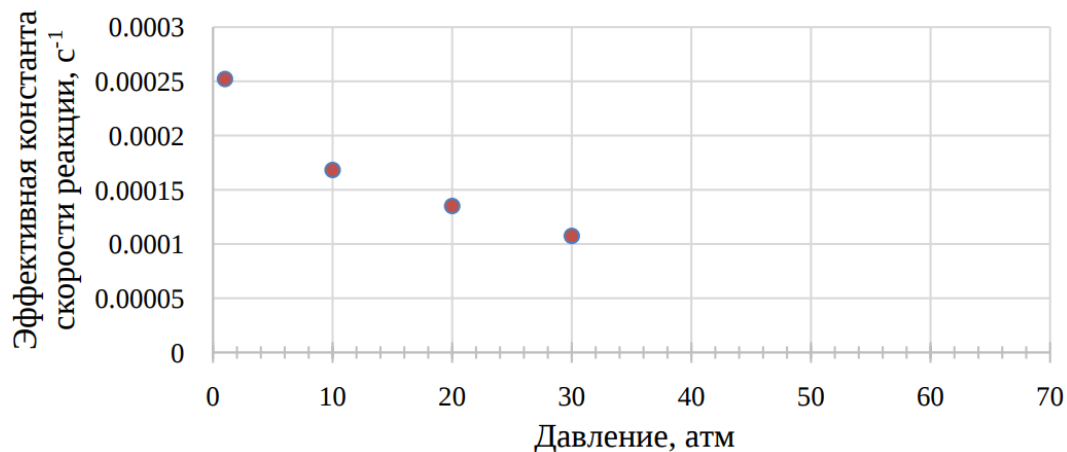


Рисунок 4. Зависимость эффективной константы скорости реакции от давления

Список литературы:

1. Шарифуллин А. Р. Математическое моделирование кислотных обработок скважин в слоисто-неоднородных карбонатных коллекторах: дис. – Уфа: дис. канд. техн. наук, 2010.
2. Богданов А.В., Исмаилов Т.А. Оценка константы скорости растворения галита в открытом объеме и в пористой среде // Вести газовой науки. 2017. №2 (30).

Научный руководитель: д.т.н., доцент Л.Ф. Давлетшина

ФАЗЛЕТДИНОВ С.У.

Башкирский государственный университет

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫТЕСНЕНИЯ НЕФТИ
МИКРОЭМУЛЬСИЕЙ В МОДЕЛИ ПОРОВОГО ДУБЛЕТА**

FAZLETDINOV S.U.

Bashkir State University

**NUMERICAL STUDY OF THE EFFICIENCY OF OIL DISPLACEMENT BY
MICROEMULSION IN A PORE DOUBLET MODEL**

Как известно, вытеснение из пористой среды одной фазы другой несмешивающейся фазой происходит под действием капиллярных и вязких сил. Соотношение этих сил определяет мобильность остаточной нефти в сети поровых каналов. Многие авторы использовали модель порового дублета для объяснения захвата остаточной нефти и распределения жидкости в сети порового пространства [1-3]. Практическое применение результатов этих исследований включает определение относительной проницаемости коллектора, оценку параметров заводнения для эффективного вытеснения изначально связанной нефти и мобилизацию захваченной остаточной нефти в гидрофильных коллекторах.

Данная работа посвящена численному исследованию эффекта захвата остаточной нефти в модели порового дублета. Для численного моделирования использовался пакет OpenFOAM с многомасштабным решателем

hybridPorousInterFoam [4]. Суть многомасштабности решателя заключается в том, что математическая модель включает уравнение Навье-Стокса для описания многофазного течения в микроканалах пористой среды и уравнение Дарси для описания многофазной фильтрации в пористой матрице.

Рассматривалась двухфазная фильтрация в микромоделе, аналогичной геометрии порового дублета [5]. На рис. 1 представлена 2D геометрия порового дублета и дискретизация расчетной области. Общая длина дублета 1750 мкм, ширина входного и выходного каналов 180 мкм, соотношение размеров ответвленных каналов в центральной части равно $w_1/w_2 = 1/2$. Изначально модель была заполнена нефтью (плотность $\rho_o = 800 \text{ кг/м}^3$, динамическая вязкость $\mu_o = 60 \text{ мПа} \cdot \text{с}$). Пористость внутренней части порового дублета задавалась равной 1, на боковых и внутренних границах канала задавались условие прилипания на скорость и условие симметрии на давление.

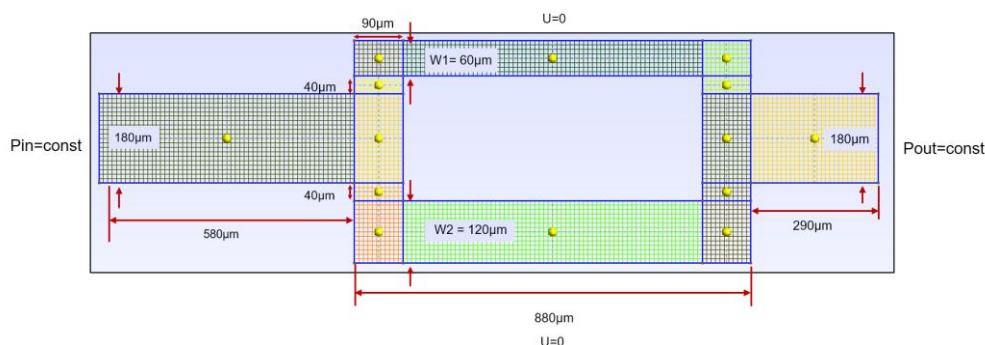


Рисунок 1. Геометрия и дискретизация расчетной области модели порового дублета.

Были проведены многопараметрические расчеты вытеснения различными агентами вытеснения для гидрофобной поверхности. Давление на входе варьировалось от 400 Па до 700 Па. Рассматривалось три агента с различными показателями поверхностного натяжения: вода ($\sigma = 0,03 \text{ н/м}$), минерализованная вода ($\sigma = 0,01 \text{ н/м}$) и микроэмульсия ($\sigma = 0,00001 \text{ н/м}$). На рис. 2 представлены характерны картины вытеснения водой в различные моменты времени. Капиллярные силы направлены против потока жидкости. Из рисунка видно, что вытесняющая жидкость сначала фильтруется по широкому каналу, что обусловлено меньшим капиллярным давлением. В зависимости от перепада давления обнаружены случаи когда закачиваемая жидкость останавливается на входе в разветвляющиеся каналы, фильтруется только по широкому каналу, фильтруется по узкому и широкому каналу с захватом нефти в углах канала и на выходе из дублета. Полученные результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными. Характерные картины вытеснения для различных перепадов давления и агентов вытеснения приведены на рис. 3, откуда видно, что с уменьшением коэффициента поверхностного натяжения агент проникает в узкий канал быстрее, вытесняя тем самым нефть. Также мы видим, что микроэмульсия наиболее эффективный агент при меньших перепадах давления. На рис. 4 представлена зависимость объема захваченной в узком канале нефти от перепада давления для различных коэффициентов поверхностного натяжения, характеризующих различные агенты вытеснения. Из графика видно, что для перепада давления 550 Па включительно с уменьшением коэффициента поверхностного натяжения, объем остаточной нефти в узком канале уменьшается, а вытеснение минерализованной водой не зависит от перепада давления. Также было обнаружено, что при вытеснении микроэмульсией не остается остаточной нефти на выходе из дублета (рис. 3).

Результаты данной работы могут быть использованы как скрининг технология для выбора подходящего агента вытеснения с целью увеличения нефтеотдачи пласта.

Автором работы был изучен пакет OpenFoam и выбран подходящий решатель для поставленной задачи, построена геометрия вычислительной области и собрана численная модель. Проведены многопараметрические расчеты и проанализированы результаты численного моделирования. Показана эффективность применения микроэмульсии как вытесняющий агент заземленной нефти в микропорах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ в рамках научного проекта № 21-79-10212.

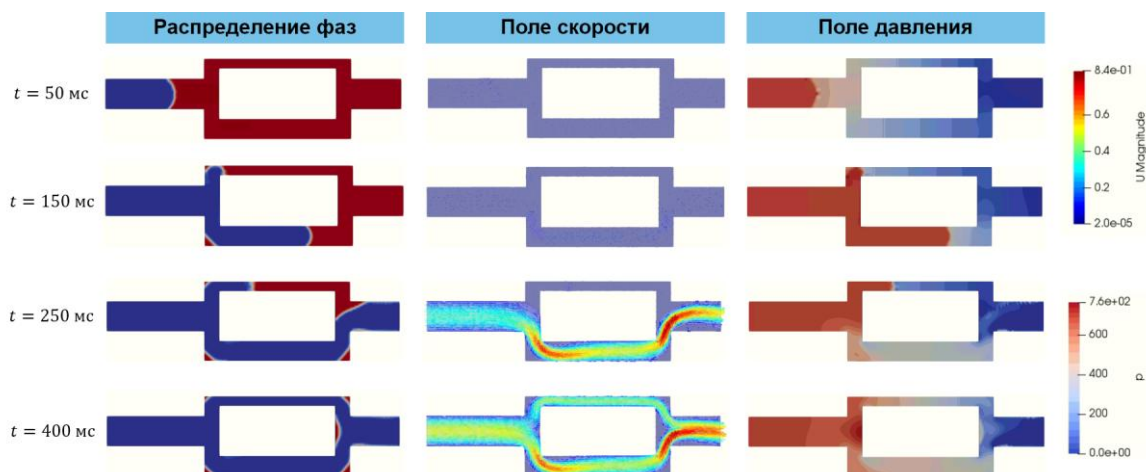


Рисунок 2. Характерные картины вытеснения нефти водой

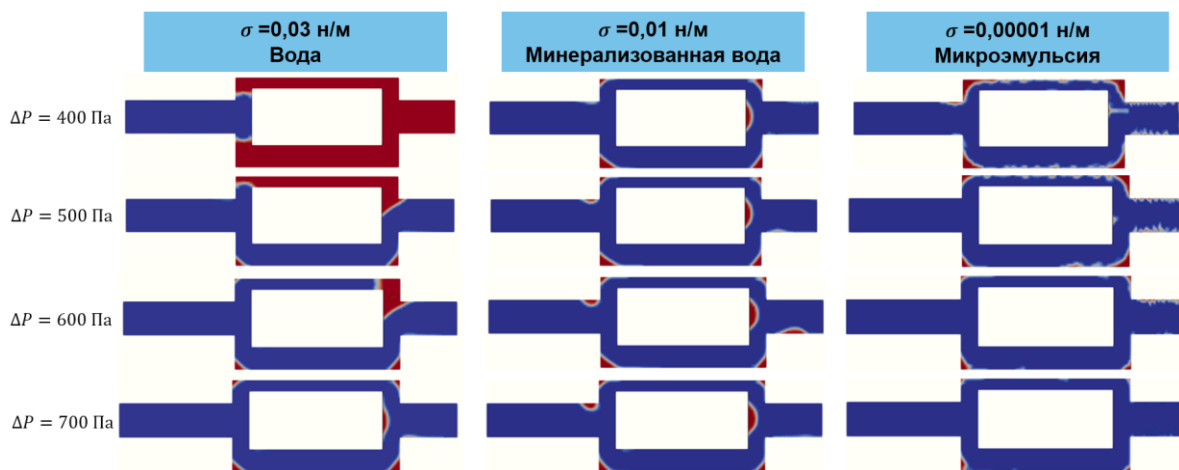


Рисунок 3. Зависимость вытеснения для гидрофильной поверхности от капиллярных сил

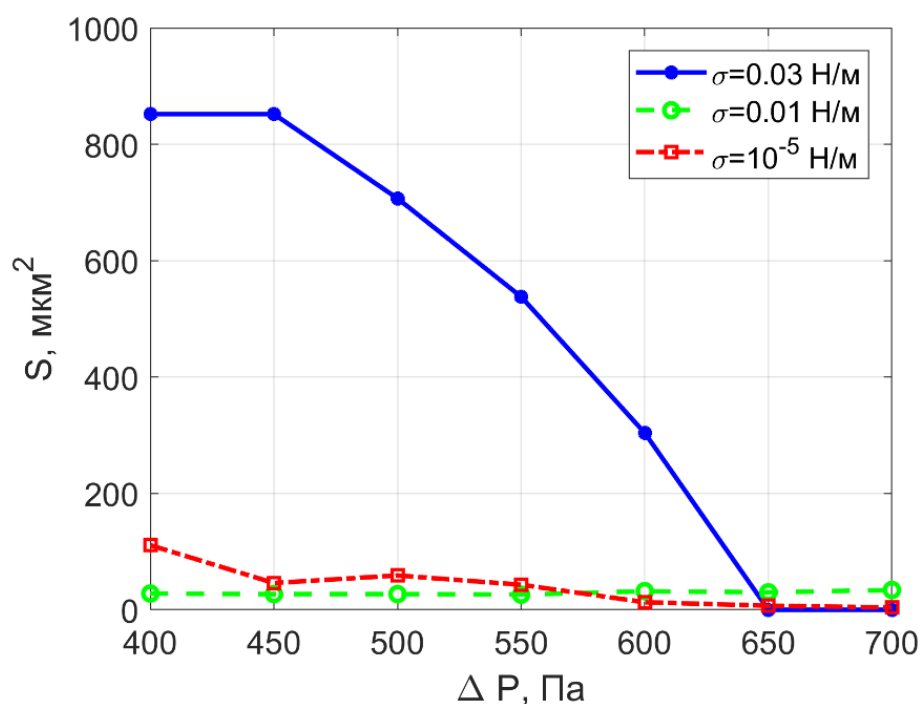


Рисунок 4. Объем захваченной нефти в узком канале для разных агентов вытеснения

Список литературы:

1. Moore, T. F., and Slobod, R. L. Dependence of Residual Oil Mobilization on Wetting and Roughness // Prod. Monthly 20, 20 (1956).
2. Rose, W., and Witherspoon, P. A. Trapping oil in a pore doublet // Prod. Monthly 21, 32 (1956).
3. Stegemeier, G. L. Relationship of trapped oil saturation to petrophysical properties of porous media // SPE 4754, presented at the SPE-AIME Improved Oil Recovery Symposium, Tulsa, OK, April 22-24, 1974
4. Carrillo F.J., Bourg I.C., Soulaire C. Multiphase flow modeling in multiscale porous media: An open-source micro-continuum approach // Journal of Computational Physics. 2020. V. X. 8:100073.
5. Ehrlich, R., and Crane, F. E. The effect of pore-structure on hysteresis in relative permeability and capillary pressure: Pore-level modeling // Soc. Pet. Eng. J. 9,221 (1969).

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Ю.А. Питюк

ФАТКУЛЛИНА Н.Б.

Башкирский государственный университет

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОТОКОВ В
МИКРОКАНАЛАХ С НЕРОВНЫМИ СТЕНКАМИ**

FATKULLINA N.B.

Bashkir State University

**NUMERICAL STUDY OF HYDRODYNAMIC FLOWS IN THE MICROCHANNELS
WITH ROUGH WALLS**

Изучение процессов в пористых средах является сложной задачей из-за большого количества параметров, влияющих на течение жидкости. Поэтому для прогнозирования поведения пластовых жидкостей в пористой среде (например, фильтрация флюида в трещиновато-пористой породе) и их исследования на макроуровне необходимо детальное изучение гидродинамических потоков в микромасштабе, принимая во внимание структурные особенности сред. Моделирование фильтрации флюидов в пласте имеет практическое значение для разработки технологий увеличения нефтеотдачи, так как макроэффекты, возникающие при фильтрации нефти в пласте, во многом определяются особенностями динамики жидкости на микроуровне в поровых каналах. Кроме того, численное моделирование фильтрации в пористой среде имеет важное значение с экономической стороны процесса нефтедобычи. Использование таких моделей позволяет сократить число лабораторных и полевых экспериментов, оптимизировать существующие механизмы и стратегии добычи, а также оценить возможные риски.

Известно, что в природе не существуют микроканалы с идеально ровными стенками, они обладают некоторой шероховатостью и даже неровностями, отклоняющими формы каналов поровых сред от идеальных. Целью настоящей работы является применение цифрового модуля для изучения особенностей гидродинамических потоков в пористых средах, представленных в виде каналов с неровными стенками на микроуровне. Одним из важнейших факторов, который следует учитывать при моделировании течения жидкости в пористых средах, является геометрия структуры. Наиболее применимыми являются два основных подхода к описанию пористой среды – капиллярная модель, представленная в виде сети микроканалов, и структурная, состоящая из множества микроразмерных столбиков. В рамках данной работы рассматривается капиллярная модель пористой среды [1].

Рассматриваются гидродинамические потоки внутри микроканалов с прямоугольным поперечным сечением, боковые стенки которых имеют неровности в виде прямоугольных треугольников различных размеров. Все процессы протекают при малых числах Рейнольдса ($Re < 1$) и изотермических условиях. Течение вязкой несжимаемой жидкости описываются стационарными уравнениями Стокса, дополненными условиями периодичности течения под действием постоянного перепада давления.

Для решения поставленной задачи необходимо использование современных вычислительных методов. Применяемый численный подход основан на методе граничных элементов (МГЭ), который очень эффективен при исследовании

трехмерных задач в областях со сложной геометрией, поскольку все расчеты связаны только с границей. Задачи большой вычислительной сложности возникают, когда для описания процессов требуется большое количество дискретных элементов на границе, поскольку МГЭ сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений с плотной несимметричной матрицей. Поэтому весьма актуальным является применение эффективных подходов к трехмерному моделированию течения вязкой жидкости в областях со сложной геометрией. В рамках данной работы ускорение МГЭ производилось как с помощью усовершенствованного масштабируемого алгоритма (быстрый метод мультиполей), так и с использованием гетерогенной вычислительной архитектуры (многоядерные процессоры и графические процессоры). Это позволяет осуществлять непосредственное крупномасштабное трехмерное моделирование на персональной рабочей станции. Используемая постановка задачи и численный подход более подробно описаны в работе [2].

Расчеты проводились для двух форм микроканалов – Ch1 и Ch2 со следующими размерами, где в качестве характерного масштаба длины взята половина ширины канала с учетом неровности w . Длина канала Ch1 – $6w$, ширина – $2w$, высота – $0.35w$, длина шероховатости – $1w$, ширина – $0.5w$, ширина центральной части канала – $1w$. Длина канала Ch2 – $5.6w$, ширина – $2w$, высота – $0.35w$, длина шероховатости – $1.4w$, ширина – $0.7w$, ширина центральной части канала – $0.8w$. Число Рейнольдса в обоих случаях составило $Re \approx 0.3$.

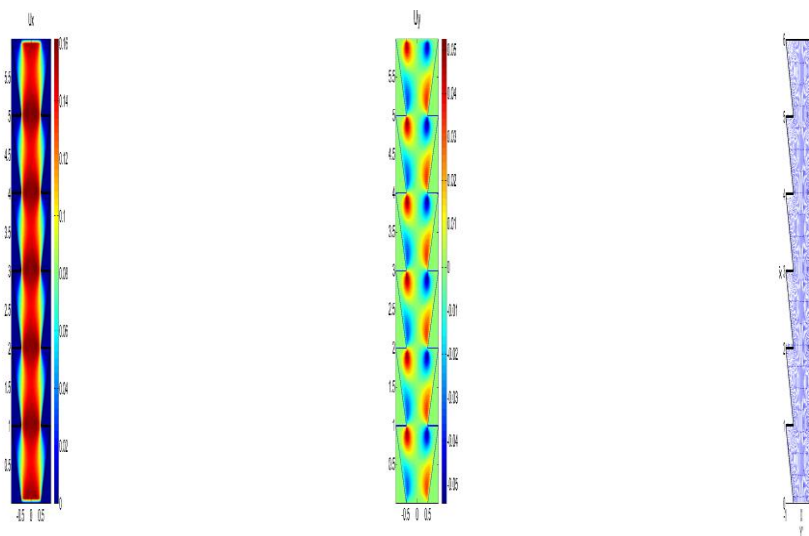


Рисунок 1. Продольная и поперечная компоненты скорости течения жидкости, линии тока жидкости в микроканале Ch1

Проведено численное исследование особенностей гидродинамических потоков в микроканалах с неровными стенками. Разработана триангуляция микромоделей с общим количеством треугольных элементов $N \approx 5 \cdot 10^4$. Получены картины течения для двух конфигураций каналов с разными размерами треугольных неровностей на стенках. По рис. 1 – 2 видно, что основной поток жидкости приходится на центральную ось канала, а в областях резкого сужения канала выделяются максимумы скорости. Это связано с перераспределением основного потока. Линии тока показывают, что в углах шероховатостей канала жидкость находится в состоянии покоя, скорость потока в этих частях минимальна.

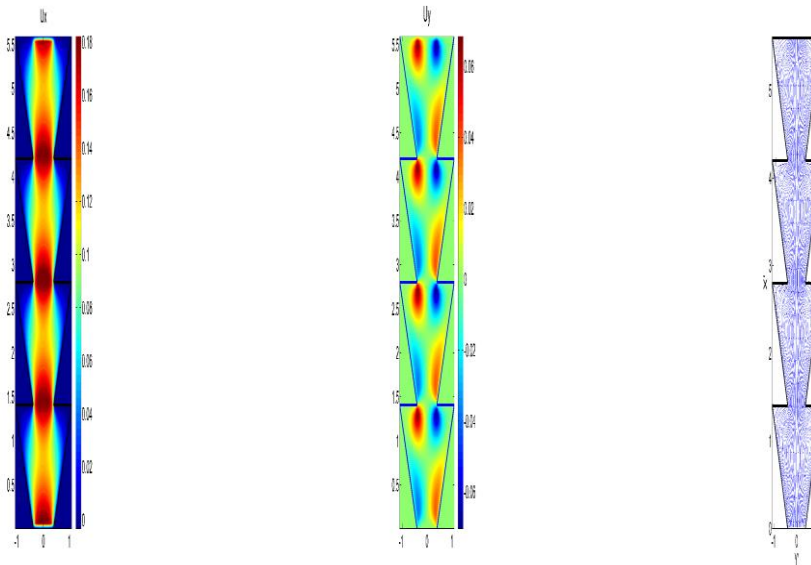


Рисунок 2. Продольная и поперечная компоненты скорости течения жидкости, линии тока жидкости в микроканале Ch2

В рамках данной работы проведено исследование влияния геометрических параметров микромодели порового канала на структуру потока жидкости на основе эффективного численного подхода. Полученные результаты могут быть использованы для верификации моделей, описывающих течения в пористых средах. Подобные модели используются для описания фильтрации в горных породах, технологических процессов изготовления волокнистых композитов и других прикладных задач. Кроме того, изучение течений в подобных структурах является важной задачей, связанной с повышением эффективности микротеплообменников для микроэлектронных устройств.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда в рамках научного проекта № 21-79-10212.

Список литературы:

1. Kandlikar S.G, Schmitt D., Carrano A.L., Taylor J.B. Characterization of surface roughness effects on pressure drop in single-phase flow in minichannels // *Physics of Fluids*, 2005, 17(10), 100606;
2. Itkulova Y. A., Solnyshkina O. A., Gumerov N. A. Toward Large Scale Simulations of Emulsion Flows in Microchannels Using Fast Multipole and Graphics Processor Accelerated Boundary Element Method // *ASME 2012 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. – pp. 873-881.

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент О.А. Солнышкина

ФИЛАТОВ А.А., КРИСАНОВА П.К.
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

КОМПОЗИЦИЯ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА НА ОСНОВЕ ПСЕВДОДИМЕРНОГО ПАВ

FILATOV A.A., KRISANOVA P.K.
Gubkin Russian State University of Oil and Gas

COMPOSITION FOR HYDRAULIC FRACTURING BASED ON PSEUDODIMERIC SURFACTANTS

В настоящей работе представлен разработанный состав на основе бесхлорных псевдодимерных поверхностно-активных веществ (ПДПАВ) с добавлением железосодержащего реагента-структурообразователя.

Одним из современных направлений в области разработки реагентов для гидравлического разрыва пласта является разработка и исследование бесполимерных жидкостей разрыва на основе вязкоупругих растворов поверхностно-активных веществ (ВУПАВ). Жидкости ГРП на основе ВУПАВ экологичны, просты в использовании, а за счет самодеструкции обеспечивают практически полное восстановление проводимости образованных трещин и проппантной пачки после проведения операции. Кроме того, данные системы обладают нефтеотмывающим действием и способны стабилизировать глинистую породу. Однако большинство ПАВ, которые способны образовывать гели необходимой структуры, производятся с использованием хлорорганических соединений. Данные соединения впоследствии могут перейти в пластовые флюиды, ухудшая товарные качества нефти и негативно влияя на целостность нефтеперерабатывающего оборудования. Также для композиций ПАВ требуются большие расходы реагентов (до 90 л/м³) [1,2].

В рамках данной работы проведена разработка бесхлорного ПДПАВ и исследований композиций на его основе. В структуре ПДПАВ присутствуют сразу два углеводородных радикала, что способствует более интенсивным гидрофобным взаимодействиям, и, как следствие, образуется высокоструктурированный гель. В качестве ПАВ-гелеобразователя используется производное технической олеиновой кислоты, что может значительно удешевить процесс ГРП на данных системах. В качестве реагента-структурообразователя использовались соединения трехвалентного железа. Подбор оптимального соотношения ПАВ: реагент-структурообразователь проводился с помощью методов ротационной вискозиметрии и осцилляционной реологии – подбирались композиции с наилучшими реологическими свойствами. Способность удерживать в объеме проппант исследуемые композиции проявляют при меньших концентрациях, чем известные аналоги (рисунок 1).

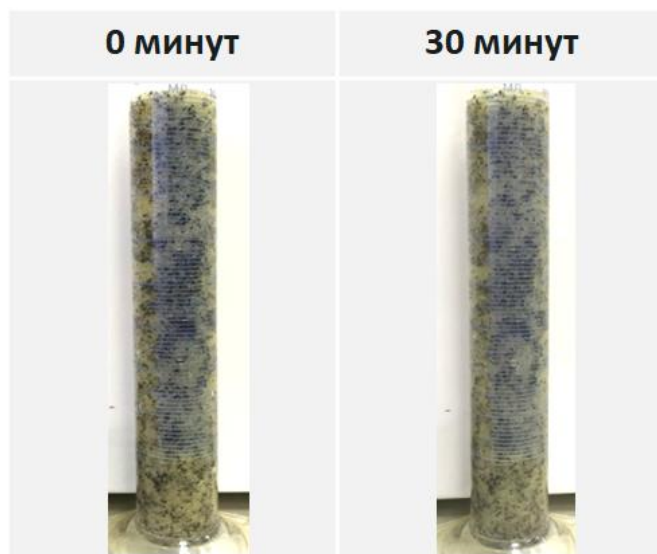


Рисунок 1. Исследование песконесущей способности. Расход ПДПАВ: 35 л/м³

Оценка воздействия составов на глинистую породу проводилось по методикам Жигача-Ярова и центрифугирования. Данные системы проявляют стабилизирующее действие за счет адсорбции ПАВ на поверхности глины даже при разбавлении составов более чем на 75%. Исследуемые композиции подвергаются самодеструкции при контакте с углеводородами, что выявлено при смешении составов с нефтью в различных соотношениях. Вязкость разрушенной композиции сопоставима с вязкостью основы – воды. В дальнейшем планируется продолжить подбор различных структурообразователей, оценить их влияние на свойства ПАВ, а также провести фильтрационные исследования на кернах конкретных месторождений.

Авторы внесли равноценный вклад в проведение исследований и интерпретацию экспериментальных результатов. Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению № 075-15-2020-936 в рамках программы развития НЦМУ.

Список литературы:

1. Силин М.А., Магадова Л.А., Малкин Д.Н., Крисанова П.К., Бородин С.А., Фан Ву Ань. Беспolyмерная технологическая жидкость для гидроразрыва пласта на основе вязкоупругих поверхностно-активных веществ // Территория нефтегаз. – 2017. – №5.
2. Шипилов А. И., Бабкина Н. В., Меньшиков И. А. Исследование свойств технологической жидкости для гидроразрыва пласта на основе вязкоупругих ПАВ // Нефтяное хозяйство. – 2018. – №. 3. – С. 30-33.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Л.А. Магадова

ФОМИНА А.С.
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОНОЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ НА ДЕЙСТВИЕ
ИНГИБИТОРА КОРРОЗИИ В УГЛЕКИСЛОТНОЙ СРЕДЕ**

FOMINA A. S.
ООО «Gazprom VNIIGAZ»

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MONOETHYLENE GLYCOL ON THE
EFFECT OF A CORROSION INHIBITOR IN A CARBON DIOXIDE MEDIUM**

Начиная от добычи газа и газового конденсата и заканчивая их промышленной транспортировкой и переработкой, может возникать множество осложнений, в том числе коррозия металла под действием агрессивных сред. В процессе добычи полезных ископаемых попутно с ними извлекается пластовая вода с различной степенью минерализации. В составе добываемых флюидов могут присутствовать коррозионно-опасные компоненты, в частности, диоксид углерода (CO_2). Вследствие хорошей растворимости CO_2 в водной среде, при их совместном присутствии стимулируются коррозионные процессы, преимущественно локального характера, которые являются наиболее опасным по отношению к скважинному оборудованию и трубопроводам [1]. Это распространено на газовых объектах, особенно при повышенной обводненности, которые наиболее часто встречаются на большинстве месторождений России. Поэтому необходимым условием является применение ингибиторов коррозии как наиболее эффективных методов защиты конструкционного материала.

В условиях добычи газа для предотвращения осложнений нередко используются ингибиторы гидратообразования, которые дозируются наряду с ингибитором коррозии непосредственно в скважину. Одним из реагентов, предотвращающих появление газовых гидратов, является моноэтиленгликоль (МЭГ), который применяется для этой цели, в основном, на морских объектах [2-3]. МЭГ также может частично ингибировать коррозионное разрушение металла вследствие снижения доли водной фазы в водно-гликолевом растворе, насыщенной CO_2 . В связи с этим в данной работе были проведены представляющие интерес исследования по изучению коррозионного процесса в системе, содержащей МЭГ, пластовую воду, CO_2 и ингибитор коррозии.

Испытания по определению скорости коррозии были проведены в модели пластовой воды (МПВ) с общей минерализацией 18 г/дм^3 , а также в смеси МПВ с МЭГ в соотношении 1:1, при введении ингибитора коррозии в концентрации 100 мг/л . Скорость коррозии измерялась гравиметрическим методом в динамических условиях в течении 6 часов на стальных пластинках марки Ст20. Для оценки механизмов коррозионного процесса использовался потенциодинамический метод снятия поляризационных кривых, где в качестве рабочего электрода служила сталь марки Ст3. Все эксперименты были выполнены при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$ по СТО Газпром 9.3-007-2010.

На рисунке 1 представлены поляризационные кривые в средах МПВ и МПВ:МЭГ (1:1) при продувке CO_2 без ингибитора коррозии и с его дозировкой в концентрации 100 мг/л .

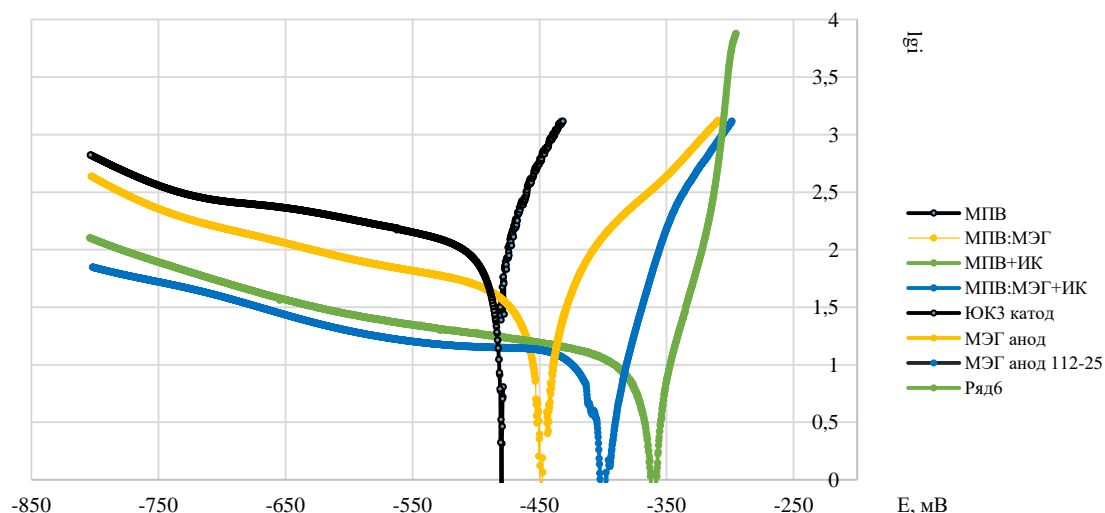


Рисунок 1. Поляризационные кривые в средах МПВ, МПВ:МЭГ (1:1) без ингибитора и с его дозированием в систему

Из графика следует, что введение МЭГ в систему смещает потенциал коррозии в более положительную сторону, что говорит о торможении анодного процесса растворения стали и, соответственно, снижении скорости коррозии. В случае с дозированием ингибитора больший сдвиг потенциала наблюдается в системе, содержащей только МПВ (без присутствия МЭГ). Полученные электрохимические данные подтверждаются значениями скоростей коррозии (по потере веса), изображенными на рисунке 2.

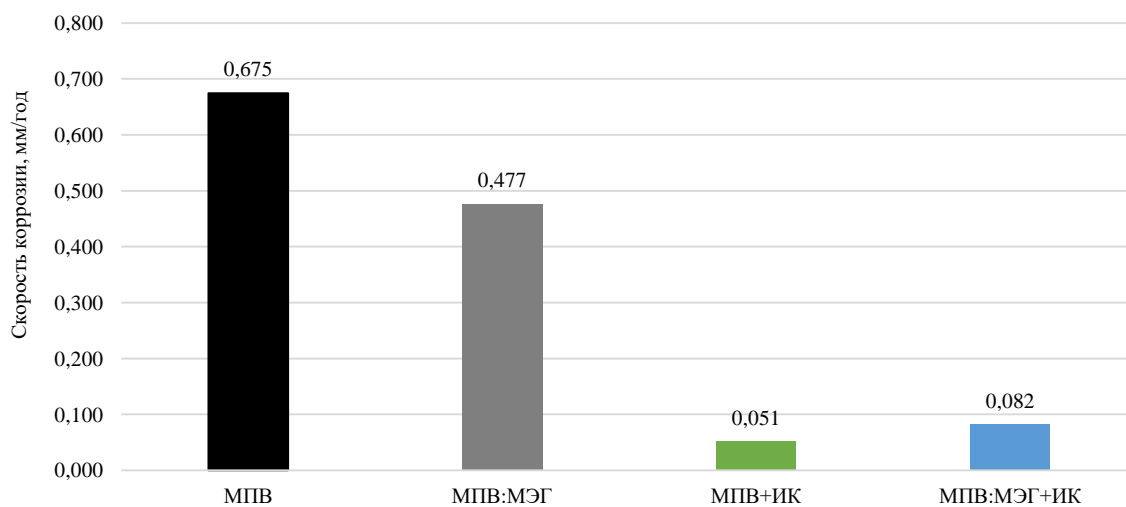


Рисунок 2. Зависимость скорости коррозии стали Ст20 от среды

Исходя из графика видно, что наибольшая скорость коррозии наблюдается в системе МПВ (0,675 мм/год). Наличие МЭГа снижает скорость коррозии стали (0,477 мм/год) по сравнению с раствором пластовой воды, что говорит о способности гликоля несколько ингибировать коррозионный процесс, в частности, снижать протекание анодной реакции. Введение ингибитора коррозии снижает почти в 10 раз значения скорости коррозии (0,051 мм/год) в системе МПВ (без МЭГа). В присутствии ингибитора коррозии скорость протекания коррозионного процесса имеет несколько более высокие значения в системе с МЭГом (0,082 мм/год), что, возможно, связано с

конкурирующей адсорбцией МЭГа и ингибитора коррозии на поверхности стали. Таким образом, ингибирующие свойства МЭГ в данной среде не приводят к совместному положительному действию при взаимодействии с ингибитором коррозии.

Список литературы:

1. Кантюков Р.Р., Запечалов Д.Н., Вагапов Р.К. Анализ применения и воздействия углекислотных сред на коррозионное состояние нефтегазовых объектов // Записки Горного института. - 2021. - Т. 250. - №4. - С. 578-586/
2. Клычко Д.В., Кутовой Д.В., Погосов М.А. Особенности эксплуатации Киринского ГКМ с применением моноэтиленгликоля в качестве ингибитора гидратообразования // Газовая промышленность. – 2019. – № 1 (782): спецвыпуск. – С. 22–28.
3. Gulbrandsen E. Why does glycol inhibit CO₂ corrosion / E. Gulbrandsen, J-H. Morard // CORROSION 98. – San Diego, California: NACE international, 1998. – Paper № 221.

Научный руководитель: к.х.н. Р.К. Вагапов

ХАРЛАМОВА Е.М.

Самарский государственный технический университет

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКОГО ФАКТОРА НА РАЗРАБОТКУ
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ С ВЫВОДОМ
РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА**

KHARLAMOVA E.M.

Samara State Technical University

**ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF THE RHEOLOGICAL FACTOR ON THE
DEVELOPMENT OF HIGH-VISCOSITY OIL FIELDS WITH THE CONCLUSION
OF RECOMMENDATIONS FOR THE USE OF CARBON DIOXIDE**

В работе проводится оценка реологического фактора на разработку месторождений высоковязкой нефти на примере пласта А3 Славкинского месторождения, а также дальнейшие рекомендации по применению диоксида углерода в сверхкритическом состоянии по данным термодинамического моделирования

Проблема добычи высоковязкой нефти стала довольно актуальной. Сегодня Россия добывает примерно 1\2 миллиарда тонн - это примерно 10% общей добычи в мире. Запасы у нас катастрофически уменьшаются и увеличиваются запасы высоковязких нефтей и природных битумов. Вместе с тем на сегодняшний день достаточно остро стоит проблема изыскания способов утилизации индустриального диоксида углерода. В связи с этим становится актуальным поиск оптимальной технологии закачки диоксида углерода в нефтяные пласты, что способствует решению проблемы утилизации и одновременно позволяет увеличить нефтеотдачу.

Целью и методом исследования является анализ месторождения на возникновение застойных зон из-за процессов структурообразования и дальнейшее обоснование эффективности применения диоксида углерода в сверхкритическом

состоянии для повышения эффективности разработки месторождения высоковязкой нефти.

Эффективность разработки нефтяных месторождений существенно зависит от состава и свойств нефти, в частности, от содержания в ней высокомолекулярных структурообразующих компонентов: асфальтенов, смол и парафина. Чтобы наиболее полно использовать запасы углеводородного сырья, необходимо учитывать возможность проявления неньютоновских свойств в процессе эксплуатации нефтяных залежей.

При фильтрации нефти с большой концентрацией твердой фазы наблюдается реологические эффекты, которые связаны с образованием в жидкости структуры из твердых частиц или высокомолекулярных веществ.

Температура, при которой в жидкости начинают образовываться кристаллы парафина, называется температурой насыщения нефти парафином $t_{\text{нас}}$. Ее приближенно оценили по уравнению ТатНИПИнефти ($31,1^\circ\text{C}$).

Начало кристаллизации парафина определяется разностью между пластовой температурой и температурой насыщения нефти парафином.

Так как пластовая температура (21°C) ниже температуры насыщения нефти парафином $t_{\text{нас}}$ парафинистая нефть ведет себя, как структурированная жидкость за счет кристаллизации парафина.

Предположим, что нефть пласта А3 обладает свойствами нелинейно вязко-пластичной жидкости. Тогда в разрабатываемом пласте могут существовать зоны, в пределах которых движение нефти происходит с низкими скоростями из-за процессов структурообразования. При приложении градиента давления выше градиента давления предельного разрушения структуры вязко-структурные свойства нефти не влияют на процесс фильтрации. Градиент предельного разрушения структуры можно рассчитать, используя сведения о компонентном составе нефти и попутного газа, а также свойствах пласта.

С целью расчета градиента давления предельного разрушения структуры воспользуемся двумя методиками, разработанными первая - для нефтей карбона месторождений Башкирии и залежей XIII и XIV горизонтов месторождения Узень, вторая – для нефтей месторождений Татарии.

По результатам расчетов фактический градиент давления должен быть не менее $0,0027$ МПа/м. Примем, что для исключения влияния вязко структурных свойств нефти на процесс фильтрации необходимо поддерживать значение фактического градиента давления на уровне $0,0028$ МПа/м.

На основе карты изобар пласта А3 поднятия определим вероятность возникновения застойных зон. Для анализа выделим несколько зон добывающих скважин. Производится замер расстояния между соседними изобарами в различных местах и определяется фактический градиент давления.

Таким образом, можно сделать вывод, что в районах выделенных участков с частичным влиянием вязко-структурных свойств рекомендуется увеличение фактического градиента давления.

С целью уменьшения влияния неньютоновских свойств нефти на ее фильтрацию для увеличения фактического градиента давления помимо увеличения перепадов давления путем регулирования значений забойных давлений, предлагается растворение в нефти небольших количеств двуокиси углерода CO_2 .

Традиционные технологии закачки CO_2 малоэффективны для ранних стадий разработки месторождений высоковязкой нефти, поэтому необходимы иные способы, одним из которых может являться закачка диоксида углерода в пласт в сверхкритическом состоянии.

Для оценки ожидаемой эффективности в настоящей работе проведены моделирующие расчёты термодинамического состояния флюидов в прискважинной зоне пласта на примере высоковязкой нефти.

Изменение вязкости исследуемой нефти в зависимости от содержания в ней диоксида углерода представлено на рисунке 1. Эффект снижения вязкости проявляется весьма отчётливо. Оптимальное с точки зрения возможности повышения нефтеотдачи соотношение объёмов диоксид углерода / нефть – 0,5-0,75.

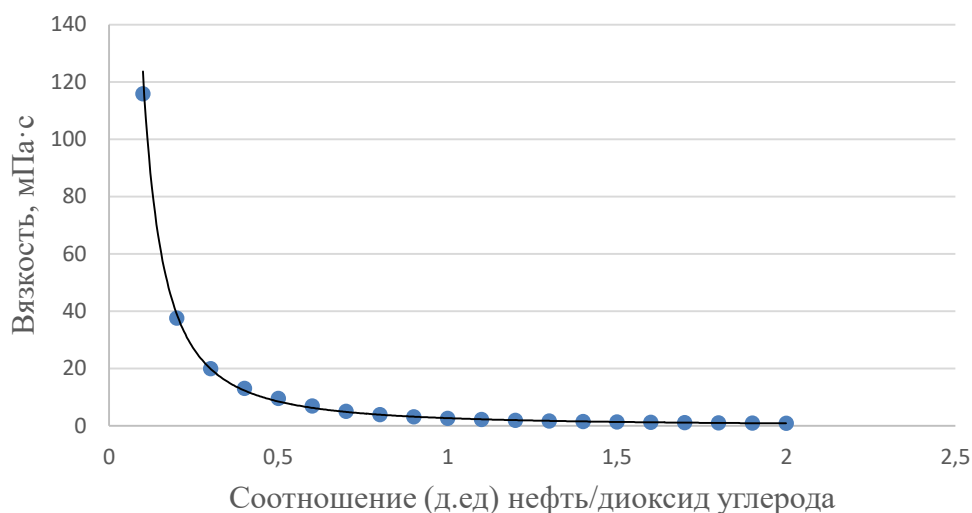


Рисунок 1. Зависимость вязкости нефти от содержания диоксида углерода

Моделирование термодинамического состояния флюидов в прискважинной зоне пласта под воздействием диоксида углерода является важным этапом в обосновании эффективности технологии, применяемой с целью стимулирования извлечения высоковязкой нефти.

Результаты моделирования показывают, что при воздействии диоксида углерода вязкость исследуемой нефти снижается с 209,3 до 40 мПа·с в докритической области и достигает значения 0,1 мПа·с в сверхкритической области. Доказанное расчётами снижение вязкости является определяющим фактором, способствующим увеличению подвижности нефти в радиусе обработки и повышению дебита добывающей скважины.

Список литературы:

1. Радаев, А. В. Влияние термобарических условий в однородном пласте на вытеснение маловязкой нефти сверхкритическим диоксидом углерода / А. В. Радаев, Н. Р. Батраков, А. А. Мухамадиев, А. Н. Сабирзянов // Сверхкритические флюиды: теория и практика. - 2009. - Т.4. - № 3. - С. 7–15.
2. Лютин, Л. В. Лабораторные исследования по применению углекислоты для полного удаления нефти из призабойной зоны и для увеличения нефтеотдачи / Л.В. Лютин, С.А. Серебренников // Труды ВНИИ, 1958. - Вып. XV. - С. 23-36.
3. Филенко, Д.Г. Исследование влияния термобарических условий на вытеснение нефти диоксидом углерода в сверхкритическом состоянии / Д.Г. Филенко, М.Н.

- Дадашев, В.А. Винокуров // Научно-технический сборник «Вести газовой науки». - 2012. № 3 (11). - С. 371-382.
4. Гумеров, Ф.М. Перспективы применения диоксида углерода для увеличения нефтеотдачи пластов / Ф.М. Гумеров // Вести газовой науки. 2011. № 2 (7).
 5. Балинт В., А. Бан, Долешал, Ш., Забродин, П.И., Терек, Я. Применение углекислого газа в добыче нефти. – М.: Недра, 1977. - С. 240.
 6. Череповицын, А.Е. Экономическая оценка проектов закачки CO₂ в нефтяные месторождения / А.Е. Череповицын, К.И. Сидорова, И.В. Буренина // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». - 2014. № 5. – С. 337-356.
 7. Алёкина, Е.В. Техничко-экономические аспекты воздействия сверхкритическим диоксидом углерода на продуктивные пласты для увеличения нефтеотдачи / Е.В. Алёкина, В.А. Ольховская // Сб. трудов X Научно-практической конференции (с международным участием) «Сверхкритические флюиды: фундаментальные основы, технологии, инновации». - С. 652-653.
 8. Аванесян В.Г. Реологические особенности эмульсионных смесей. –М.: Недра, 1980- 116 с.
 9. Аметов И.М., Байдииков Ю.Н., Рузин Л.М., Спиридонов Ю.А. Добыча тяжелых и высоковязких нефтей. –М.: Недра, 1985. -205 с.
 10. Бернадинер М.Г., Ентов В.М. Гидродинамическая теория фильтрации аномальных жидкостей. –М.: Наука, 1975. -199 с.
 11. Горбунов А.Т. Разработка аномальных нефтяных месторождений. –М.: Недра, 1981. – 237 с.

Научный руководитель: к.х.н., доцент Е.В. Алекина; старший преподаватель В.Е. Подъячева

ХОЛМУРОДОВ Т.А., ВАХИН А.В.

Казанский (Приволжский) федеральный университет

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНО АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ АСФАЛЬТЕНОВЫХ АГРЕГАТОВ В СОСТАВЕ ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

KHOLMURODOV T.A., VAKHIN A.V.

Kazan Federal University

INFLUENCE OF SURFACTANTS ON ASPHALTENE AGGREGATES DURING HYDROTHERMAL TREATMENT OF HEAVY OIL

Актуальность исследования, мало изучено явление преобразования асфальтеновых агрегатов в составе высоковязкой нефти при термическом и гидротермальном воздействии. Этот процесс важен для создания новых технологий нефтедобычи. Именно асфальтены во многом определяют высокую вязкость. Применение поверхностно активных веществ позволяет изменить не только контактный угол на границе порода-нефть, но и повлиять на стабильность агрегатов асфальтенов. Разрушить межмолекулярные взаимодействия физической природы.

Основной целью исследования влияние ПАВ на интенсивность термokatалитического воздействия на нефть в присутствии катализатора деструктивного гидрирования. Предполагается что ПАВ разрушит агломераты асфальтенов, и это облегчит доступ катализатора к серосодержащим связям в асфальтенах направленные на совершенствование паротепловых технологий освоения месторождений тяжелой нефти. При паротепловой обработке пласта создаются условия для химической конверсии высокомолекулярных компонентов - смол и асфальтенов с образованием легких насыщенных и ароматических углеводородов. В результате снижается вязкость нефти и повышается степень нефтеотдачи [1].

Объектом исследования служила тяжелая нефть Ашальчинского месторождения с плотностью 0.9727 г/см³. Тяжелая нефть, используемая в данном исследовании, была предоставлена ПАО «Татнефть» с месторождения Ашальча (Россия).

В качестве поверхностно активных веществ выбрали готовые продукты компании ГК «Миррико» маркой SA-3 и ПАВ «Vector» синтезированный авторами Д.Р.Нургалиев и др. [2]. Опыты проведены в автоклаве (Parr Instruments, США) емкостью 300 мл при 200°C в течение 48 ч. при закачке азота в системе с начальном давлением 10 Бар в целях симуляции пластовых условиях. В автоклав загружали смесь: нефть, ПАВ, предкурсор таллата никеля и уайт спирт в качестве донора водорода. Результаты исследование показали, что после добавление поверхностно активных веществ значительно изменилось вязкость как показано на (рис. 1). Это обусловлено тем, что происходит деструкция асфальтенов в результате реакции крекинга, образовавшийся свободные радикалы гофрируется, тем самым переходя в легкую фракцию.

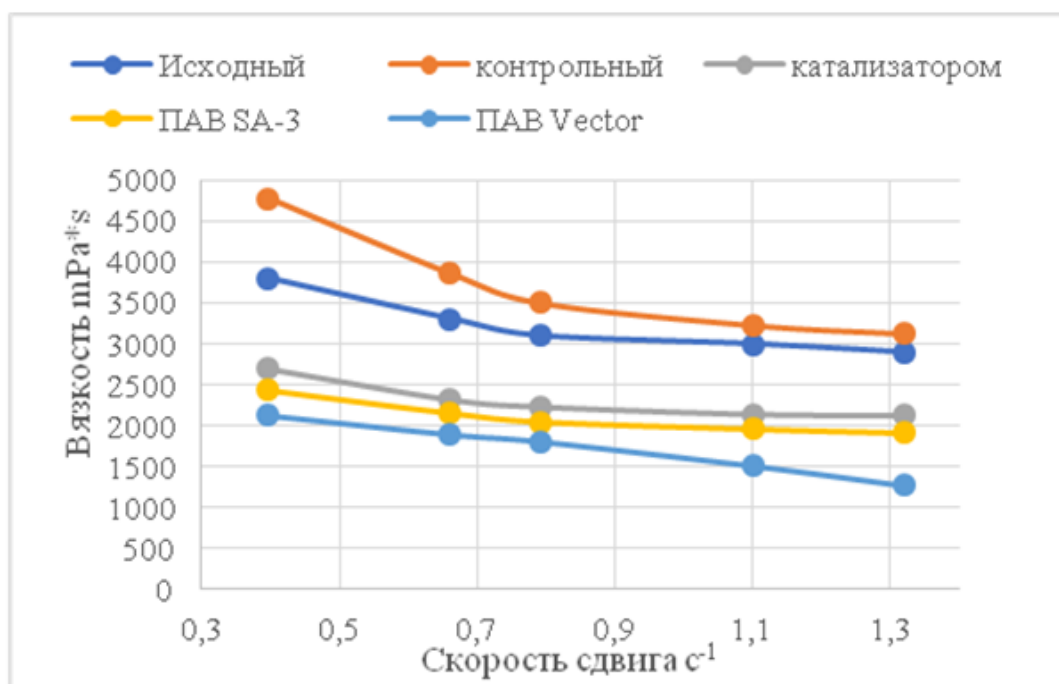


Рисунок 1. Зависимость вязкости от скорости сдвига при температуре 20 °C

Результаты SARA анализа подтвердили наши предположения показано на таблице 1.

Таблица 1 – Результаты SARA анализа.

Углеводороды	Исходный образец	Контрольный образец	С катализатором (Ni)	ПАВ (SA-3)	ПАВ (Vector)
Насыщенные	29.30	28.81	30.71	30.21	31.30
Аромат-ие	32.51	30.68	33.02	34.96	33.92
Смолы	32.10	33.46	30.28	29.23	30.62
Асфальтены	6.15	7.04	5.99	5.59	4.15

Результаты исследования свидетельствуют о том, что с добавлением поверхностно активных веществ в тяжелую нефть пластовых условиях, можно снизить вязкость на 60% относительно от исходного, а также снизить концентрацию асфальтенов в составе тяжелой нефти.

Таким образом, совместная закачка ПАВ и пара является перспективным подходом к нетрадиционной добыче тяжелой нефти, а полученные результаты являются первым шагом к модификации новых зарождающихся паровых технологий. Установлено, что использованные ПАВы обеспечивает наиболее глубокую конверсию нефти, а именно, снижает содержание высокомолекулярных компонентов нефти, в частности, смол и асфальтенов, при этом увеличивается содержание ароматических и насыщенных фракций, а также термokatалитическое воздействие обеспечивает необратимое снижение вязкости добываемой нефти и может повысить коэффициент извлечения нефти.

Полученные данные могут быть использованы для оптимизации существующих технологий освоения нетрадиционных углеводородных ресурсов. применение ПАВ совместно с паротепловой обработкой залежи позволит снизить паронефтяной фактор (SOR, Steam-to-oil-ratio).

Список литературы:

1. Vakhin A.V. et al. Extra-heavy oil aquathermolysis using nickel-based catalyst: Some aspects of in-situ transformation of catalyst precursor // Catalysts. 2021. Vol. 11, № 2.
2. Патент 2765453 РФ Состав для интенсификации добычи тяжёлых и вязких нефтей, способ его получения и способ его использования / Нургалиев Д.К., Успенский Б.В., Нафиков И.М., Вахин А.В., Ситнов С.А., Мухаматдинов И.И.; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет». - № 2021123383; заявл. 05.08.2021; опубл. 31.01.2022; бюлл. изобр. №4.

Научный руководитель: к.т.н., доцент А.В. Вахин

ХРИПКОВА Е. А., КУРЯТКОВ Д.И.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРУППОВОГО СОСТАВА НЕФТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТОНКОСЛОЙНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ И КЛАССИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ ИССЛЕДОВАНИЙ

KHRIPKOVA E.A., KURYATKOV D.I.

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE RESULTS OF DETERMINING THE GROUP COMPOSITION OF OIL USING THIN-LAYER CHROME TOGRAPHY AND CLASSICAL RESEARCH METHODS

В работе рассмотрены основные методы проведения исследований по определению количественного содержания насыщенных, ароматических и полярных соединений в нефти по ОСТ 153-39.2-048-2003, прил. И.; ГОСТ 11851-85 и IP 469/01, а также проведен сравнительный анализ полученных результатов.

В качестве объекта исследований были выбраны 7 проб дегазированной нефти Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции.

Актуальность проведенных исследований не вызывает сомнений, так как выпадение асфальто-смоло-парафиновых веществ в призабойной зоне пласта, стволах скважин и нефтегазопромысловом оборудовании является одной из наиболее серьезных проблем, осложняющих добычу и транспортировку нефти. Тонкослойная хроматография проводится для определения количественного содержания насыщенных и ароматических углеводородов, а также смол и асфальтенов в дегазированных пробах нефти. Полученные результаты могут быть использованы при проведении экспериментальных исследований по определению группового состава нефти и нефтепродуктов лабораторными методами исследований.

Целью работы является обоснование применимости методов проведения исследований по определению количественного содержания насыщенных, ароматических и полярных соединений в нефти по ОСТ 153-39.2-048-2003, прил. И., ГОСТ 11851-85 и IP 469/01. Для достижения данной цели в работе был проведен сравнительный анализ полученных результатов.

Тонкослойная хроматография с пламенно-ионизационным детектором в приборе Iatroscan используется как быстрый и эффективный способ определения фракций SARA (насыщенные + ароматические углеводороды; смолы + асфальтены) в сырой нефти и битумных экстрактах [1, 2, 3].

Исследования проводились на приборе для проведения тонкослойной хроматографии на кварцевых стержнях Chromarod с ПИД-детектором (рисунок 1).

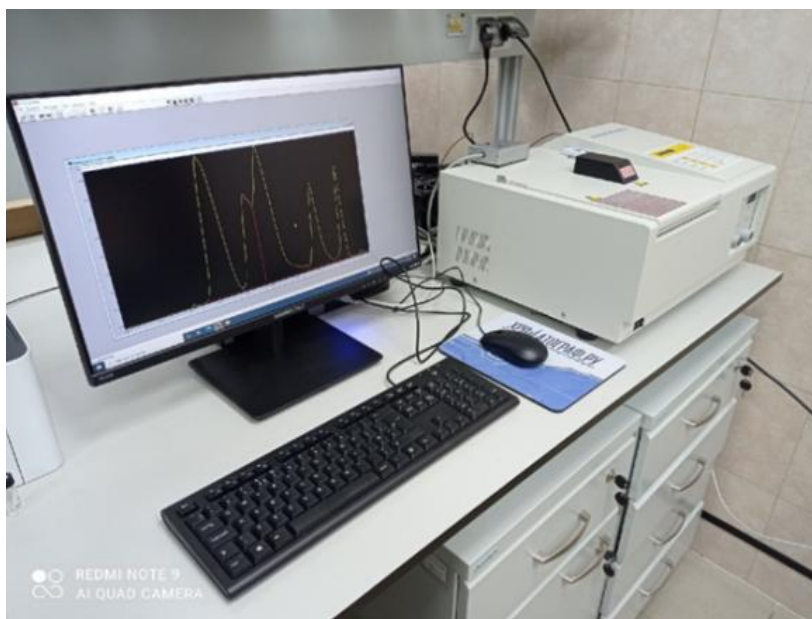


Рисунок 1. Прибор для проведения тонкослойной хроматографии на кварцевых стержнях Chromarod с ПИД-детектором

Исследования проводились согласно IP 469/01 – Определение насыщенных, ароматических и полярных соединений в нефти и нефтепродуктах методом тонкослойной хроматографии и детектированием ионизации пламени. Применение данного метода позволяет:

- во-первых, в более чем в 5 раз сократить время выполнения исследований для определения насыщенных, ароматических и полярных соединений в нефти и нефтепродуктах по сравнению с физико-химическими исследованиями, позволяющими определять те же показатели в соответствии с ОСТ 153-39.2-048-2003; ГОСТ 11851-2018.

- во-вторых, определение насыщенных, ароматических и полярных соединений в нефти и нефтепродуктах на тонкослойной хроматографии с пламенно-ионизационным детектором позволяет определять количественное содержание компонентов с высокой точностью до 0.1 % по массе.

Параллельно с проведением исследований согласно IP 469/01 по тем же пробам были проведены определения асфальто-смоло-парафиновых веществ согласно ОСТ 153-39.2-048-2003, прил. И.

В мировой практике лабораторных исследований нефти и нефтепродуктов, а также исследованиях асфальто-смоло-парафиновых веществ в глубинных и устьевых пробах нефти с учетом фазовых переходов (обеспечение потока) метод тонкослойной хроматографии на сегодняшний день является наиболее точным и востребованным и позволяет в сжатые сроки получать высокоточные данные, которые позволяют нефтедобывающим компаниям эффективно бороться с выпадением асфальто-смоло-парафиновых отложений в стволах скважин, призабойной зоне пласта, трубопроводах и т.д.

Согласно анализу иностранных научных статей [1, 2, 3] на сегодняшний день именно тонкослойная хроматография является основным методом для проведения SARA-анализа.

В случае с проведением SARA-анализа методом тонкослойной хроматографии на хроматографе с ПИД-детектором к классу асфальтены (Полярные II) приводятся большее количество соединений в сравнении с классическим методом (ОСТ 153-39.2-048-2003, прил. И).

В методе тонкослойной хроматографии асфальтены отделяются от других углеводородных компонентов путем добавления н-алканов (пентан, пропан).

Затем оставшиеся компоненты, называемые мальтенами (вещества растворимые в н-алканах, пентане или гептане), молекулярные компоненты асфальтена, труднолетучие (высокикипящие) компоненты остатков, компоненты угольных смол, кипящие при температурах 350-450°C разделяют при помощи хроматографической системы на три фракции: насыщенные углеводороды, ароматические соединения, смолы.

Классическая же схема (ОСТ 153-39.2-048-2003, прил. И) проведения анализа включает в себя:

- осаждение асфальтенов путем разбавления нефти большим количеством растворителей;
- выделение насыщенных углеводородов;
- выделение ароматических углеводородов;
- выделение смол.

Также данный метод предполагает отфильтровывание выпавших асфальтенов через бумажный фильтр, что неблагоприятно сказывается на точности определения массового содержания асфальтенов в навеске.

При исследованиях нефти в соответствии с IP-469 определяются все четыре класса соединений с помощью адсорбционной хроматографии, поэтому численное содержание асфальтенов, как правило, отличается от того, которое было определено в соответствии с ОСТ 153-39.2-048-2003, прил. И.

Классическая схема определения массового содержания асфальтенов и смол в навеске нефти (ОСТ 153-39.2-048-2003, прил. И), как правило, приписывает значительную часть смолистых веществ к классу асфальтенов в виду того, что данный метод является «ручным» и не предполагает использования хроматографии и других точных измерительных методов для определения SARA-компонентов.

В то же время тонкослойная хроматография, напротив, является чувствительным (высокоточным методом) при использовании которого задействованы ПИД-детектор, автосамплер, современное программное обеспечение и т.д., что позволяет не только увеличить точность получаемых результатов, но и снизить до минимума вероятность ошибки со стороны оператора.

Список литературы:

1. Karlsen D.A., Larter S.R. Analysis of petroleum fractions by TLC–FID: applications to petroleum reservoir description // *Organic Geochemistry*. – 1991. - Vol.17. – P. 603–617.
2. Bharati, S., Røstum, G.A., Løberg, R. Calibration and standardization of Iatroscan (TLC-FID) using standards derived from crude oils // *Organic Geochemistry*. – 1994. – Vol. 22. – P. 835–862.
3. Bharati, S., Patience, R., Mills, N., Hanesand, T.. A new North Sea oil-based standard for Iatroscan analysis // *Organic Geochemistry*. – 1997. – Vol. 25. – P. 49–57.
4. Lobanov, A.A., Struchkov I.A., Belozеров I.P., Shulev V.E., Yuriev A.V., Pustova E.U., Kovalenko V.A., Sergeev G.D. Prediction of asphaltenes deposition in the Russian oilfield: Laboratory investigations and modeling // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 186.

Научный руководитель: к.т.н., доцент М.Б. Дорфман

Научный консультант: старший преподаватель И.П. Белозеров

ХРИСТИЧ Е.А.

Санкт-Петербургский горный университет

ОБОСНОВАНИЕ СОСТАВА ДЛЯ ПОТООТКЛОНЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ НА НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

KHRISTICH E.A.

Saint Petersburg Mining University

APPLICATION OF THE COMPOSITION FOR FLOW-DIVERTING TECHNOLOGIES IN OIL AND GAS CONDENSATE FIELD

В работе рассмотрено обоснование применения состава на основе силиката натрия и хромокалиевых квасцов в качестве композиции для потокоотклоняющей технологии в условиях объекта разработки АС₄₋₈ Федоровского нефтегазоконденсатного месторождения. Проведены реологические исследования выбранной композиции в условиях, соответствующим пластовым на выбранном объекте и сделан вывод о возможности ее применения.

В настоящее время большинство нефтяных месторождений России и мира разрабатываются с помощью системы поддержания пластового давления (ППД). Естественной энергии пласта не хватает для высоких темпов добычи нефти, поэтому, для создания необходимого давления, в пласт через нагнетательные скважины закачивается вода, которая должна оттеснять нефть к забоям добывающих скважин.

Основной проблемой при заводнении нефтяных пластов является то, что вода имеет гораздо меньшую вязкость нежели нефть, поэтому в пласте она более подвижна и испытывает меньшее сопротивление при фильтрации. Как следствие – наблюдаются «прорывы» воды к добывающим скважинам с резким увеличением обводненности скважинной продукции. При этом в непромытых зонах пласта все еще остается значительное количество запасов нефти, которые невозможно извлечь, не принимая никаких дополнительных мер.

С другой стороны, открываемые в последние годы месторождения все более геологически неоднородны. Это означает, что в пределах месторождения могут быть десятки пропластков разной мощности с различными физическими и фильтрационно-емкостными свойствами. Таким образом, закачиваемая вода, двигаясь по пути наименьшего сопротивления, в большей части поступает в высокопроницаемые пропластки, в то время как в низкопроницаемых зонах остаются запасы, не охваченные процессом заводнения.

Способом решения данной проблемы является применение потокоотклоняющих технологий (ПОТ). Их суть заключается в закачивании в нагнетательные скважины больших объемов специальных реагентов, способных селективно фильтроваться именно в высокопроницаемые и наиболее промытые зоны пласта, понижая их проницаемость вплоть до полной блокировки. Таким образом, закачиваемая вслед вода отклоняется в зоны пласта, ранее не участвовавшие в процессе разработки и вытесняет дополнительную нефть [3,7].

Для данной цели существует множество эмульсионных, полимерных, осадкообразующих композиций. Каждая композиция применима в определенных геологических условиях и имеет свои преимущества и недостатки [2].

Для рассматриваемого объекта – группы пластов АС₄₋₈ Федоровского месторождения, был проведен анализ применения различных ПОТ. наибольшее применение нашли композиции на основе полимер-гелеобразующих систем (ПГС) и осадко-гелеобразующих систем (ОГС), которые характеризуются относительно высокой удельной эффективностью [5]. Значит именно в данных сферах необходимо проведение исследований для усовершенствования методов увеличения нефтеотдачи (МУН) на данном объекте, а также возможности реализации подобных технологий на месторождениях с похожей геолого-физической характеристикой.

На основе анализа состояния разработки месторождения и критериев применимости композиции обоснован выбор участка для внедрения технологии, а также в результате гидродинамического моделирования дан прогноз ее эффективности [1,6].

В качестве состава, применяемого при проведении потокоотклоняющего МУН (ПМУН) рассматривается гелеобразующая композиция на основе силиката натрия и хромокалиевых квасцов [4].

Предлагаемая композиция создается путем смешивания водных растворов двух реагентов. В качестве основы для геля служит силикат натрия – белое сыпучее вещество в виде гранул, его химическая формула Na_2SiO_3 . В качестве связующего элемента, т.е. сшивателя, используются хромокалиевые квасцы – рассыпчатое вещество фиолетового цвета, химическая формула $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$.

Доказано, что в воде хромокалиевые квасцы и силикат натрия растворяются, образуя ионы, взаимодействие которых приводит к образованию сшитого гелеобразного продукта. Один ион хрома (III) может взаимодействовать с тремя силикат-ионами, что определяет трехмерную структуру образующегося соединения.

Известно, что, варьируя концентрации как силиката натрия, так и хромокалиевых квасцов, можно в довольно широких пределах регулировать реологические свойства получаемой композиции. Для улучшения необходимых свойств также возможно добавление в малых концентрациях некоторых добавок, например, глицерина. Также значительное влияние на свойства состава оказывает температура.

В ходе лабораторных исследований были изучены некоторые свойства данной композиции при температуре, равной пластовой на объекте (57 °С). Важным технологическим свойством подобных составов является срок гелеобразования – это время, за которое композиция переходит в сшитое состояние. С целью выявления зависимости срока гелеобразования от концентраций реагентов были проведены замеры времени сшивания при различных комбинациях концентраций силиката натрия и квасцов.

Также проводились исследования таких реологических свойств композиции, как индукционный период гелеобразования – это срок, во время которого вязкость состава остается неизменной, но по его окончанию начинается кратный рост вязкости композиции, зависимость вязкости от скорости сдвига, а также параметры уже загеленного состава - статическое и динамическое напряжение сдвига (СНС и ДНС).

Измерения проводились в лаборатории Санкт-Петербургского горного университета на ротационном вискозиметре Rheotest RN 4.1 немецкой компании Messgerate Medingen GmbH. Во время экспериментов также поддерживалась температура 57 °С.

Таким образом, в данной работе представлена гелеобразующая композиция на основе силиката натрия и хромокалиевых квасцов, предлагаемая для использования в качестве состава для потокоотклоняющей технологии на выбранном объекте.

Список литературы:

1. А.Р.Мавлиев, М.К.Рогачев, Д.В.Мардашов. Обоснование объемов закачки потокоотклоняющих композиций в нагнетательные скважины // Записки горного института, - 2011, - Том 189, - С. 182 – 186.
2. Гимазова Г.К., Вахитова А.К., Верховых А.А. Обзор методов увеличения нефтеотдачи пласта путем потокоотклонения и выравнивания профиля приемистости // Вестник Казанского технологического университета, - 2014, - №4, - С. 257 - 262.
3. Гуторов А.Ю. Применение потокоотклоняющих технологий для увеличения конечной выработки нефтяных пластов. – Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2014. – 185 с.
4. Дурягин В.Н. Обоснование технологии ограничения водопритока для нефтяных месторождений с трещинно-поровым типом коллектора: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.17. СПб.: Горный университет, 2015. 124 с.
5. Огорельцев В.Ю, Леонтьев С.А. Результаты применения осадкогелеобразующих составов (ОГС) для увеличения нефтеотдачи пласта Федоровского месторождения // Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна (опыт, инновации): материалы Международной научно-технической конференции. Т.2., – Тюмень: ТИУ, 2016. – С 104 - 107.
6. Р.А. Гималетдинов, В.В. Сидоренко, Р.Н.Фахретдинов. Критерии эффективного применения технологий выравнивания профиля приемистости пласта в условиях разработки месторождений ОАО «Газпром нефть» // Нефтяное хозяйство, - 2015, - №5, - С. 78 - 83.
7. С.А.Сулима, В.П.Сонич, В.А.Мишарин. Потокоотклоняющие технологии – основной метод регулирования разработки высокозаводненных залежей // Нефтяное хозяйство, - 2004, - №2, - С. 44 - 50.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Д.Г. Подопригора

ЧЖАН СИНЬТУН
Университет Чанчжоу

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ НЕФТЯНОГО
ПЕСКА С ПОМОЩЬЮ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИИ**

ZHANG XINTONG
Changzhou University

**NUMERICAL SIMULATION OF OIL SAND SEPARATION BY HYDRAULIC
CAVITAION**

In this paper, an oil sand separation method based on hydraulic cavitation effect is proposed, and a hydraulic cavitation device for oil sand separation is designed. Its internal watershed flow field is displayed by CFD simulation, its working mechanism is clarified, and the most suitable working conditions are summarized.

With the rapid development of the global economy and the increasing demand for energy, conventional oil and gas resources are gradually in short supply. As an important unconventional petroleum energy, oil sand is widely distributed in China and all over the world, and has a very broad development prospect. Oil sand separation technology is the top priority of oil sand resource utilization. How to separate oil sand with low energy consumption, high oil production rate, simple process and less pollution is the focus of many scholars.

At present, the relatively mature oil sand separation technologies include water washing method, solution extraction method, pyrolysis dry distillation method and so on, all of which have their own advantages, disadvantages and limitations. The traditional oil sand separation technology has been difficult to meet the requirements of modern society for environmental protection, energy conservation and sustainable development. As a relatively new physicochemical water treatment technology, hydraulic cavitation technology has become the focus of scholars at home and abroad in recent years. Cavitation effect will produce four additional effects in the oil sand separation system: interface effect, perturbation effect, turbulence effect and energy accumulation effect: interface effect is the mechanical effect produced by the micro jet at the interface between oil sand and separation reagent, which accelerates the stripping of asphaltene on the surface of silica sand; The energy accumulation effect and perturbation effect can reduce the adhesion stress of asphaltene to the sand surface and reduce the difficulty of separation; Turbulence effect can make the whole oil sand separation system produce many vortices and speed up the process of oil sand separation. The combined action of these four effects can reduce the thickness of oil sand asphalt and accelerate the process of solid-liquid mass transfer. The vortex generated by cavitation turbulence in the water will increase the stirring effect. The micro jet generated by cavitation bubble collapse will have an erosion effect on the surface of oil sand particles, accelerate the movement of particles, promote the oil sand particles to hit the wall, make the asphaltene on the surface collapse and peel off quickly, so as to achieve the effect of oil sand separation. Hydraulic cavitation oil sand separation technology is an environment-friendly and efficient treatment method. It has the advantages of less pollution and low energy consumption, and has a wide application prospect. According to the characteristics of hydraulic cavitation and the erosion of oil sand particles on solid wall, a hydraulic cavitation device for oil sand separation is proposed in this paper, and a three-dimensional model is established based on this device. Using ANSYS fluent simulation software, the flow field in the

basin inside the device is analyzed by numerical simulation to explain the causes of cavitation. At the same time, the influence of different operating parameters on cavitation effect is studied, and the most suitable technical conditions for separating oil sand by hydraulic cavitation method are determined. The details are as follows:

(1) CDF technology is used to simulate the watershed in the cavitation device. It can be seen from the observation and calculation results that the cavitation phenomenon in the basin in the device is mainly caused by the vortex caused by the high-speed jet, and the cavitation area is mainly distributed in the vortex caused by the high-speed jet generated by the nozzle and the upper wall of the transition section and the near wall of the outlet section of the device. There is a high velocity gradient in the high-speed jet and the surrounding watershed, forming a vortex on the downstream side of the jet, resulting in a low-pressure area and cavitation. The cavitation bubble flows downstream with the jet, further expanding the cavitation area.

(2) DPM model is used to simulate the distribution of oil sand particles in the basin. It is found that the coupling between oil sand particles and strong cavitation area is poor, but it is better with weak cavitation area. The coupling area is mainly in the outlet section of the device. The greater the coupling degree, the better the effect of cavitation on oil sand. Therefore, the outlet section of the device is the main area for cavitation to separate oil sand.

(3) The effects of nozzle pressure, mainstream inlet pressure, outlet pressure, temperature and initial vapor holdup on cavitation range and watershed vapor holdup are analyzed. When the nozzle pressure rises from 0.4MPa to 0.8MPa, the low area increases significantly, and the cavitation range becomes larger. However, when the nozzle pressure continues to increase, the vapor holdup in the cavitation area and watershed does not increase significantly. When the main stream inlet pressure rises from 0.1MPa to 0.25MPa, the cavitation range first increases and then decreases, and the maximum value is at 0.2MPa. When the outlet pressure increases, the expansion of cavitation area will be restrained. When the outlet pressure is 0MPa (i.e. one atmospheric pressure), the cavitation area is the largest and the steam holdup is the highest. When the water temperature is lower than 40 °C, the steam holdup of the basin at 30 °C is the highest. When the water temperature is higher than 40 °C, the steam holdup of the basin rises sharply with the increase of water temperature. When the initial steam holdup increases from 0 to 0.5%, the basin steam holdup increases significantly. When the initial steam holdup continues to increase, the basin steam holdup will decrease sharply. Considering the factors of energy consumption, the optimum working conditions are determined as follows: nozzle pressure 0.8MPa, mainstream inlet pressure 0.2MPa, outlet pressure 0MPa, water temperature 30 °C, initial gas content 0.5%.

In this paper, the hydraulic cavitation technology is applied to the separation of oil sand, a hydraulic cavitation device for oil sand separation is designed, and the watershed is numerically simulated to explain the influence of different working conditions on the cavitation effect and separation results, which provides a basis for the further study of hydraulic cavitation separation of oil sand. In this paper, the cavitation effect of the cavitator is studied only on the basis of numerical simulation, and there is a lack of corresponding experiments to verify it; In this paper, the theoretical analysis of the causes of cavitation and cavitation bubbles on the surface of oil sand particles is not very detailed; The numerical simulation model needs to be revised to a certain extent to meet the requirements of more accurate simulation of cavitation phenomenon.

List of references:

1. Zhang Liyan. Reserve and development analysis of oil sand resources [J]. Liaoning chemical industry, 2014 (4): 2.
2. Tong Lihua. Current situation of oil sand resources exploration at home and abroad [C]. Abstract compilation of papers of 2013 academic annual meeting of Chinese Geological

- Society - S13 branch venue of oil, gas and unconventional energy exploration and development theory and technology [publisher unknown]., 2013:248-249.
3. Jia Chengzao. Oil sand resource status and reserve evaluation method [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007.
 4. Zhang Yige, Cao Zubin, Yang Fan, et al. Progress of oil sand separation technology in the world [J]. Natural gas industry, 2008, 28 (012): 110-113.
 5. Li Shuyuan, Wang Jianqiu, Qian Jialin. Research, development and utilization of world oil sand resources [J]. Sino foreign energy, 2011, 16 (5): 14.
 6. Tiangong. PetroChina's acquisition of Canadian oil sands assets [J]. Natural gas industry, 2010 (2): 1.
 7. Wu Qing. New development trend of Canadian oil sands asphalt industry [J]. Oil refining technology and engineering, 2020, 50 (6): 5.
 8. Zheng Dewen, Fang Chaohe, Li Jian, et al. Summary of oil sand mining technology and methods [J]. Journal of Southwest Petroleum University, 2008.
 9. Yange. Experimental study on hot alkali water washing separation of oil sands in Inner Mongolia [J]. Oilfield chemistry, 2005, 22 (4): 3.
 10. Xu xiuqiang, Zheng Dewen, Cao Zubin, et al Study on water washing technology for separating Xinjiang oil sand [J]. Journal of Zhengzhou University: Engineering Edition, 2008, 29 (1): 4
 11. Xu xiuqiang, Zheng Dewen, Xu Jinming, et al Research progress of oil sand separation technology in China [J]. Modern chemical industry, 2010 (8): 5.
 12. Zhang Yige, Cao Zubin, Li Dandong, et al. Study on water washing separation technology of oil sludge in Karamay, Xinjiang [J]. Chemical industry and engineering, 2008, 25 (006): 535-538.
 13. Xu xiuqiang, Zheng Dewen, Cao Zubin, et al. Study on water washing technology for separating Xinjiang oil sand [J]. Journal of Zhengzhou University: Engineering Edition, 2008, 29 (1): 4.
 14. Xu xiuqiang, Zheng Dewen, Xu Jinming, et al. Research progress of oil sand separation technology in China [J]. Modern chemical industry, 2010 (8): 5.
 15. Li J E S . EXTRACTION OF BITUMEN FROM OIL SANDS:.
 16. Chen Dejun, Zhao Suoqi, Xu Zhiming, et al. Study on solvent extraction and separation process of Canadian oil sands [C]. Modern chemical industry WanFang, 2009:3.
 17. Sun Yudong, Zhou Qiong, Zhao Lingyun. Effect of solvent on asphaltene structure in extracted oil sand asphalt [J]. Journal of Xi'an University of petroleum: Natural Science Edition, 2016, 31 (4): 6.
 18. Lin Xizhe, Li Dongsheng, Li Xiaoou. Research progress of separation of oil sands by solvent extraction [J]. Chemistry and bonding, 2016.
 19. Xu xiuqiang, Wang Hongyan, Zheng Dewen, et al. Study on treatment of oil sand by solvent extraction [J]. Petroleum refining and chemical industry, 2009.
 20. Xu xiuqiang, Wang Hongyan, Zheng Dewen, et al. Determination of oil content of oil sand by pyrolysis and dry distillation [J]. Petroleum refining and chemical engineering, 2008, 39 (12): 4.
 21. Steinmetz I. Cracking of Mix of Tar Sands Froth Product[P]. US, 1969-09-09.
 22. Wu Xingming. Experimental study on dry distillation pyrolysis of oil sand [J]. Journal of Yantai Vocational College, 2012 (2): 5.
 23. Wu Jun, Zhang Xiaodong, Liu Xuewu, et al. Hydraulic cavitation and its application [J]. Chemical industry and engineering, 2003 (6): 387-391.

24. lumuck K M,Chahine G L.The USE of cavitalingjets to oxidize organic compounds in water[J]. ASME Journal of Fluids Engineering,2000,122(9):465-470.
25. hahine G L,Kalumuck KM, Hsiao C. T.Simulation of surface piercing body coupled response to underwater bubble dynamics utilizing 3DYNAFS,a three—dimensional BEM cede[J]. Computational Mechanics,2003(4):319-326.
26. Feng KANGYI, Wang Chenghui. Effect of cavitation bubble on elastic particle microflow in ultrasonic field [J]. Journal of physics, 2019, 68 (24): 9.
27. An Yu. Ultrasonic cavitation and sonoluminescence [J]. Knowledge of modern physics, 2013, 25 (4): 35-39.
28. Wei Wei, Gu Xiaofeng, Zhu Ying, et al. Study on enhancement of alkylation of toluene to ethylbenzene by ultrasonic cavitation field [J]. Modern chemical industry, 2021, 41 (4): 112-116.
29. LUO C, GU J, TONG Z, et al. Dynamics of laser-induced cavitation bubbles near a short hole and laser cavitation processing with particles[J]. Optics & laser technology, 2021, 135 (6) DOI: 10.1016/j.optlastec. 2020.106680.
30. Zong Siguang. Collapse luminescence and shock wave radiation of laser cavitation [J]. China laser, 2010, 37 (4): 1000-1006.
31. Zhang Yalei, Xu Weilin, Zhang Qi, Zhai Yanwei. Collapse characteristics of cavitation bubbles near free surface [J]. Journal of water conservancy, 2017, 48 (2): 127-134
32. Cui Ying, Zhang Limin, fan zishuan, et al. Preparation of nano Ni-P alloy powder in spark pulse cavitation field [J]. Thermal spraying technology, 2013, 5 (002): 69-72.
33. Gogate P R. Cavitation reactors for process intensification of chemical processing applications: A critical review[J]. Chemical Engineering & Processing Process Intensification, 2008, 47(4):515-527.
34. Naude C F , Ellis A T . On the mechanism of cavitation damage by nonhemispherical cavities collapsing in contact with a solid boundary[J]. Journal of Fluids Engineering, 1961, 83: 648-656.
35. Zhang Fenghua. Theory, experiment and application of cavitating water jet [D].Chongqing University, 1999.
36. Hu Yingying. Numerical study of cavitation and cavitation collapse [F]. Tsinghua University, 2001.
37. Hu Yingying, Zhu Keqin, Xi Baoshu. Numerical study on cavitation erosion of solid wall [J]. Journal of applied mechanics, 2004, 21 (1): 22-25.
38. Bukharin N, Vinogradov O. Investigation of Cavitating Jet Effect on Bitumen Separation from Oil Sands[J]. Petroleum Science and Technology, 2012, 30(13): 1317-1723.
39. Xu xiuqiang, Wang Hongyan, Zheng Dewen. Ultrasonic separation technology of Karamay oil sand [J]. Journal of petrochemical colleges and universities, 2009, 22 (2).
40. Sun Weiwei, sun Mingzhu, Dong Likun. Application of ultrasonic in oil sand separation [J]. Chemical industry and engineering, 2009, 26 (6): 3.
41. Zhu Hongwu. Experimental study on ultrasonic oil removal of oil sand [J]. Petroleum mining machinery, 2004, 33 (5): 4.
42. Fu Lipei, Zhang Guicai, Ge Jijiang, et al. Dual frequency composite ultrasonic oil sand separation technology [J]. Journal of Shenzhen University: Science and Technology Edition, 2014, 31 (4): 5.

Supervisor of studies: D.Sc. mechanics, associate Professor Fengxia Lv

Секция 2. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА СКВАЖИН

АБДОЛЛАХПУР ПУЯ, ТАБАТАБАИ МОРИДА СЕЙЕД ШАХАБ
Технологический университет Саханд

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УТЕРЯННОГО ПРЕВЕНТИВНОГО МЕТОДА

ABDOLLAH POUR ROUYA, TABATABAEE MORADI SEYYED SHANAB
Sahand University of Technology

NUMERICAL INVESTIGATION OF A LOST PREVENTIVE TECHNIQUE

Lost circulation is one of the main reasons for non-productive time in drilling operation. This is one of the most important concerns in the oil and gas industry at different regions such as depleted reservoir and deep water [1].

Generally, lost circulation management methods are classified into two main categories, as shown in Figure below.

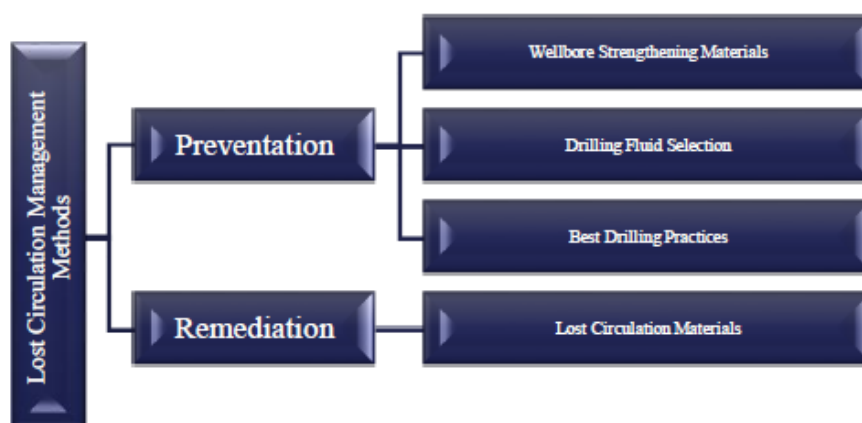


Figure 1. Lost circulation management methods

Implementation timing is the main difference between preventive and remediation methods. In contrast to the remedial methods, preventive methods are applied before diagnosis of lost circulation and their effectiveness is controlled by the many parameters such as type and nature of the lost preventive materials (LPMs). Preventive methods are divided to the three main categories, as it can be seen in the Figure 1.

The new approach to control lost circulation is to apply stress cage technology as a preventive mechanical method for wellbore wall strengthening while drilling. This term was first introduced by Aston et al [2].

The use of stress cage technology makes it possible to change the regime of induced stresses around the well by creating inductively or artificially controllable fractures in the well and keeping them open using lost preventive material close to the fracture mouth, which leads to tangential stress increase at or near wellbore wall. On the other hand, establishing a balance between the hydrostatic pressure of the drilling fluid and the fracture pressure of the

formation is the main practice of stress cage technology [3, 4]. The procedure of stress cage technology is illustrated in Figure 2 [5].

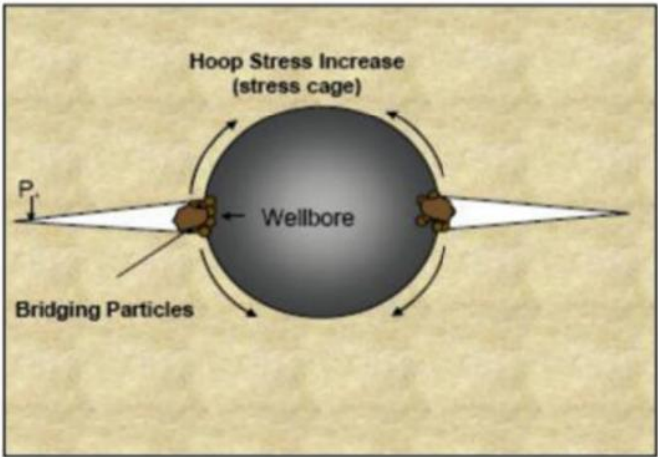


Figure 2. Development of a stress cage by bridging a fracture

In this study, two dimensional elastic, poro-elastic and thermo-poro-elastic models were introduced and validated. Using the above models, the tangential stress and the width of the induced fracture were investigated in both states of before and after bridging. The results of this investigation prove the success of stress cage technology application. Figure 3 shows the variation of hoop stress at borehole wall.

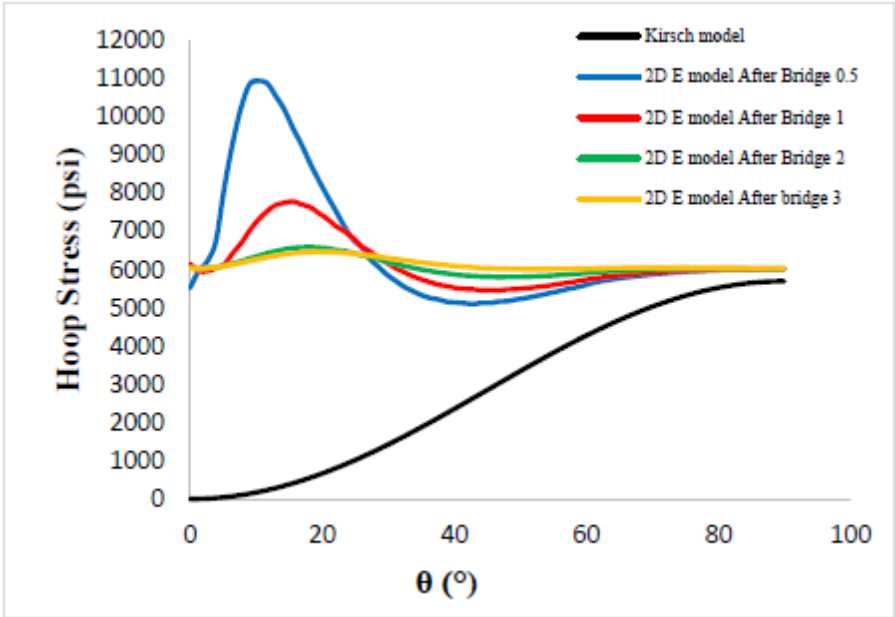


Figure 3. Comparison of tangential stress of two-dimensional elastic model in the fractured state with the Kirsch analytical model in the pre-fractured state

As shown in Figure 3, the tangential stress in the wellbore wall at all four bridging points (colored curves) is greater than pre-fracture state (black curve). Also, the biggest tangential stress is observed at the bridge point of 0.5 inches far from the fracture aperture (blue curve).

List of references:

1. Salehi, S., & Nygaard, R. (2010). Finite-element analysis of deliberately increasing the wellbore fracture gradient. 44th US Rock Mechanics Symposium – 5th US/Canada Rock Mechanics Symposium.
2. Aston, M. S., Alberty, M. W., McLean, M. R., De Jong, H. J., & Armagost, K. (2004). Drilling fluids for wellbore strengthening. Proceedings of the Drilling Conference, 321–328. <https://doi.org/10.2523/87130-ms>
3. Feng, Y., Arlanoglu, C., Podnos, E., Becker, E., & Gray, K. E. (2015). Finite-element studies of hoop-stress enhancement for wellbore strengthening. SPE Drilling and Completion, 30(1), 38–51. <https://doi.org/10.2118/168001-PA>
4. Li, J., Qiu, Z., Zhong, H., Zhao, X., Huang, W., & Yang, Y. (2020). Parametric study on near-wellbore fracture geometry for wellbore strengthening in anisotropic formation. Journal of Petroleum Science and Engineering, 184(May 2019), 106549. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.106549>
5. Aston, M. S., Alberty, M. W., Duncum, S., Bruton, J. R., Friedheim, J. E., & Sanders, M. W. (2007). A new treatment for wellbore strengthening in shale. Proceedings - SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 6, 3597-3603. <https://doi.org/10.2118/110713-ms>

Supervisor of studies: PhD petroleum engineering, assistant professor Tabatabaee Moradi Seyyed Shahab

АЛЬ ХАЛАФ ХАНИ
Университет Мишкольца

ПРИМЕНЕНИЕ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ ДОБАВОК К БУРОВОМУ РАСТВОРУ НА ВОДНОЙ ОСНОВЕ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ

HANI AL KHALAF
University of Miskolc

APPLICATION OF BIODEGRADABLE WASTE AS ADDITIVES TO THE WATER- BASED DRILLING FLUID TO IMPROVE FILTRATION PROPERTIES

Abstract

One of the most serious issues encountered during drilling operations is fluid loss within formations. For that, several commercial chemical additives, such as carboxymethylcellulose (CMC) and polyanionic cellulose (PAC), have been utilized to prevent fluid loss, which are both expensive and harmful to the environment. This study examines the use of corn cob peel powder (CCPP) as a drilling fluid additive to prevent fluid loss. CCPP is an agricultural waste that is also environmentally benign. These peels have no practical application and are environmentally neglected, as they are burned to get rid of them, which increases the problem of global warming. Drilling fluid samples were prepared with increasing concentrations of CCPP ranging from 1 wt% to 5 wt%. The effect of addition (CCPP) on the rheological properties using Fann 35 viscometer and drilling fluid density using mud balance were measured and analysed. The API LT LP press was also used to

investigate the fluid loss. According to the findings, adding (CCPP) to the drilling fluid has a significant impact on fluid loss reduction. (CCPP) was shown to be most effective at a concentration of 5 wt%.

Introduction

Most countries need oil and gas as an energy source. Therefore, the oil, and gas sector is a vital sector to turn on the wheel of the industry. Oil reservoirs are typically discovered thousands of meters underground, necessitating drilling operations to reach the reserve and extract the oil to the surface. Drilling is considered one of the most complicated and costly operations. Drilling fluids are an essential component of drilling operations. The drilling fluid performs many functions such as raising the drilled cuttings to the surface, suspending the cuttings, cooling and lubricating the drilling bit...etc [1]. There are two main types of drilling fluids, which are water-based drilling fluids and oil-based drilling fluids. Water-based drilling fluids are the most widely used [2]. The water-based drilling fluid consists of two phases: a liquid phase (water) and a solid phase (bentonite and some additives) [3]. Additives are used to modify the various properties of the base drilling fluid. These additives usually affect rheological properties, density and fluid loss when added in certain concentrations. Sometimes it need to reduce the viscosity of the drilling fluid and at other times we need to increase its viscosity...etc. The effect of these additives on the properties of the drilling fluid varies depending on the type and nature of this material. Thus, the success of drilling operations involves the correct selection of additives and the correct concentration. During drilling operations, many problems may be encountered such as differential sticking of drill pipes, fluid loss, total loss circulation, formation contamination...etc [4]. Fluid loss is a serious problem that may lead to a change in the properties of drilling fluid, differential sticking of drilling pipes, and contamination of formations, thus increasing the total cost of drilling. Several commercial additives have been used to reduce the volume of fluid loss such as carboxymethyl cellulose (CMC) [5]. The main problem with these additives is that they are expensive and environmentally harmful. Several studies have been conducted to find alternative additives to these materials that are eco-friendly materials. Those studies included many materials such as rice husks, sawdust, banana peels, mandarin peels...etc [6]–[8]. In this study, experiments were conducted on a new material that is considered biodegradable waste as an addition to the drilling fluid, which is the peels of corn cobs. These peels have no practical application and are environmentally neglected, as they are burned to get rid of them, which increases the problem of global warming. Therefore, this study highlights the possibility of employing these wastes as an additive to drilling fluid to reduce fluid loss.

Main part

API-RP-13B-1 standards were used to perform all experiments. Density, rheological properties (plastic viscosity, apparent viscosity, production point, gel resistance 10 sec, 1 min, and 10 min), filtration properties (30 min fluid loss, paste thickness) were measured with various concentrations of CCPP added to water-based drilling fluid.

Corn cob peels (CCPP) was the major material employed as an additive to water-based drilling fluid in this study. Corn cob peels (CCPP) were collected in Miskolc, Hungary. An electric grinder was used to grind these dry peels to a size of less than 250 micrometres. Corn cob peels (CCPP) were added to water-based drilling fluid in various concentrations (1 wt %, 2 wt %, 3 wt %, 4 wt %, and 5 wt %) and compared to reference drilling fluid. Water (base fluid), bentonite (viscosifier agent), CMC, and Xanthan gum were used to formulate the water-based drilling fluid system. a multi-speed Fann 35 viscometer was used to conduct rheological experiments such as measuring plastic viscosity (PV), apparent viscosity (AV), yield point (YP), and gel strength at different temperatures.

Conclusion

Minimizing fluid loss inside the formations is essential for a successful drilling operation. As a result, various commercial substances such as carboxymethylcellulose (CMC) and polyanionic cellulose (PAC) have been used, which are both expensive and have adverse environmental impacts. Corn cob peels (CCPP) were utilized as an additive in this study to reduce fluid loss in a water-based drilling fluid. The following conclusions were reached through experiments:

- Using 5% Corncob peels (CCPP) reduces fluid loss, indicating that this is the optimum concentration of the corncob peels (CCPP).
- The use of CCPP results in a mud cake with a good thickness and low permeability.
- It has no impact on density and raises the plastic viscosity, apparent viscosity, yield point, and gel strength to normal limits, increasing the effectiveness of well cleaning, reducing many drilling issues such as high torque, and increasing the ability of the drilling fluid to carry the cutting when the drilling fluid is stopped from flowing in the well.

List of references:

1. H. Rabia, Well Engineering & Construction. Entrac Consulting, 2001.
2. M. E. Hossain and A. A. Al-Majed, Fundamentals of Sustainable Drilling Engineering. John Wiley & Sons, 2015.
3. H. Gamal, S. Elkatatny, S. Basfar, and A. Al-Majed, "Effect of pH on Rheological and Filtration Properties of Water-Based Drilling Fluid Based on Bentonite," Sustainability, vol. 11, no. 23, Art. no. 23, Jan. 2019, doi: 10.3390/su11236714.
4. S. Katarina, N. Gaurina-Međimurec, and B. Pašić, "Drilling fluids differential sticking tendency determination," Rud.-Geol.-Naft. Zb., vol. 17, Dec. 2005.
5. A. N. Okon, J. U. Akpabio, and K. W. Tugwell, "Evaluating the locally sourced materials as fluid loss control additives in water-based drilling fluid," Heliyon, vol. 6, no. 5, p. e04091, May 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04091.
6. O. E. Agwu, J. U. Akpabio, and G. W. Archibong, "Rice husk and saw dust as filter loss control agents for water-based muds," Heliyon, vol. 5, no. 7, p. e02059, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e02059.
7. A. T. T. Al-Hameedi et al., "Laboratory Study of Environmentally Friendly Drilling Fluid Additives Banana Peel Powder for Modifying the Drilling Fluid Characteristics in Water-Based Muds," presented at the International Petroleum Technology Conference, Jan. 2020. doi: 10.2523/IPTC-19964-MS.
8. A. T. T. Al-Hameedi et al., "Experimental investigation of environmentally friendly drilling fluid additives (mandarin peels powder) to substitute the conventional chemicals used in water-based drilling fluid," J. Pet. Explor. Prod. Technol., vol. 10, no. 2, pp. 407–417, Feb. 2020, doi: 10.1007/s13202-019-0725-7.

Supervisor of studies: Dr. G.Kovácsné Federer

АЛЬ-ШАРГАБИ М.
Томский политехнический университет
АНТЕР ЗИД АЛИ АЛИ ХАССЕН
Санкт-Петербургский государственный университет

**ТЕХНОЛОГИЯ МНОГОСТВОЛЬНОГО БУРЕНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ
НАКЛОННО-НАПРАВЛЕННЫХ СКВАЖИН КАРСОВАЙСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

AL-SHARGABI M.
Toms Polytechnic University
ANTER ZID ALI ALI HASSEN
Saint Petersburg State University

**MULTI-WELL DRILLING TECHNOLOGY FOR CONSTRUCTION OF
DIRECTIONAL WELLS IN THE KARSOVAISKY FIELD**

Многоствольные скважины часто упоминаются как технология, которая может быть применена для максимизации коэффициента извлечения нефти из пласта. Однако лишь немногие компании готовы применять многосторонние скважины на практике. Наиболее часто называемая причина отказа от применения многосторонних систем - это риск. Без доступа к данным, доказывающим обратное, трудно преодолеть это отраслевое восприятие риска в отношении многоствольной технологии (MLT). Это часто приводит к тому, что решения не использовать технологию принимаются на основании неудачных установках, которые произошли более десяти лет назад с технологией и условиями, далекими от тех, которые можно наблюдать сегодня. Для решения этой проблемы авторы представляют исследование данных за 22 года фактического применения многоствольных скважин, изучая истинную надежность технологии. В данной статье представлены особенности применения технологии многоствольного бурения при строительстве наклонно-направленных скважин карсовайского месторождения.

При бурении перфорационных каналов предусматривается использование стандартных существующих компоновок перфобура представленных компанией ООО «Перфобур» с заданной величиной угла искривления. Простота данной компоновки заключается в том, что при достаточно низких радиусах искривления, зарезка бокового канала осуществляется в кровле продуктивного пласта, тем самым отсутствует необходимость глубокого расчета бокового ствола.

Исходные данные для расчета профиля и точки забуривания каналов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Исходные данные для расчета профиля каналов

Величина	Значение
Интервал продуктивного пласта: - по вертикале, м; - по стволу, м	1730-1760 1841-1874
Зенитный угол основного ствола в кровли продуктивного пласта, град	17,2
Азимутальный угол основного ствола в кровли продуктивного пласта, град	220
Радиус кривизны перфорационного канала, м	5

Предполагается три варианта бурения перфорационного канала: в апсидальной плоскости основного ствола со значениями азимутальных углов 220^0 и 40^0 (рис.7) и в плоскости пространственного искривления (рис.8). Учитывая опыт применения данной технологии рекомендованная длина ствола не более 12 метров. Радиус искривления согласно разработанной компоновке составляет 5 метров. Тогда, значение зенитного угла в конце бурения канала составит:

$$\alpha_{кон} = \frac{L_{кан}}{0,01745R_{искр}} + \alpha_{нач}, \quad (1)$$

где $L_{кан}$ – длина перфорационного канала, м; $\alpha_{нач}$ – зенитный угол основного ствола в точке бурения канала, град; $R_{искр}$ – радиус искривления канала, м.

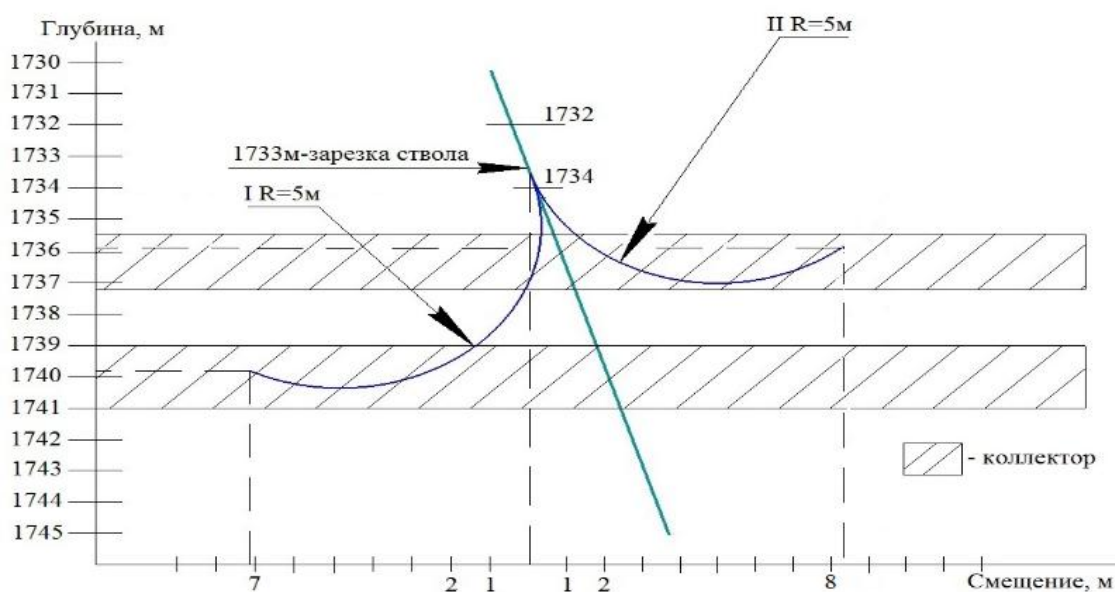


Рисунок 1. Профиль перфорационных каналов в апсидальной плоскости



Рисунок 2. Профиль перфорационного канала 3-го типа

Список литературы:

1. Krivolapov, Dmitry, Taras Soroka, Pavel Dobrokhleb, Dmitry Krepostnov, and Denis Ganiev. "A New Era in Multilateral Drilling in High Fractured Abnormal Reservoirs-Multiphase MPD." In SPE Russian Petroleum Technology Conference. OnePetro, 2018.
2. Al-Shargabi, M. A. T. S., & Al-Musai, A. H. A. (2021). Comparative analysis of programs for assessing the risk of stuck drill pipes in an oil and gas well. Проблемы геологии и освоения недр: труды XXV Международного симпозиума имени академика МА Усова студентов и молодых учёных, посвященного 120-летию горногеологического образования в Сибири, 125-летию со дня основания Томского политехнического университета, Томск, 5-9 апреля 2021 г. Т. 2.— Томск, 2021, 2, 502-504.
3. Касимов, Д. Л., Александр Васильевич Лягов, and Илья Александрович Лягов. "Опытно-промысловые работы технической системой перфобур." In геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований, pp. 14-17. 2020.

Научный руководитель: к.т.н., доцент В.А. Лушпеев

БРАТЧЕНКО А.А.

Донецкий национальный технический университет

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ БУРЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН ПРИ РАЗРАБОТКИ ШЕЛЬФОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА

BRATCHENKO A.A.

Donetsk National Technical University

DEVELOPMENT OF TECHNICAL MEANS FOR DRILLING ENGINEERING-GEOLOGICAL WELLS IN THE DEVELOPMENT OF OFFSHORE OIL AND GAS FIELDS

В работе приведены результаты исследования по разработке конструкций распределительных узлов гидроударных буровых снарядов, входящих в состав установок для бурения инженерно-геологических скважин при освоении нефтегазовых месторождений морского шельфа.

Актуальность исследования обусловлена возрастающими темпами освоения морских шельфовых месторождений нефти и газа, на которых сконцентрированы огромные запасы углеводородного сырья. Для обеспечения разработки этих месторождений необходимо выполнение больших объёмов работ по изучению донных отложений на трассах трубопроводов и площадках постановки буровых платформ при крайне скромном парке специализированных буровых плавсредств. Поэтому существует потребность в легких мобильных технических средствах, позволяющих обеспечивать быструю проходку инженерно-геологических скважин глубиной от 4 до 50 м с борта неспециализированных судов (буксиров, спасательных и т.п.).

Целью исследования являлась разработка конструкций автоматических распределительных узлов гидроударных буровых снарядов, позволяющих осуществлять переключение режимов их работы на разных этапах проходки скважин и не требующих дополнительного обслуживания перед новым рейсом. При проведении исследования выполнялось моделирование работы различных конструкций узлов и экспериментальная проверка полученных результатов в лабораторных условиях.

Для бурения инженерно-геологических скважин при освоении нефтегазовых месторождений шельфа были разработаны установки, позволяющие проводить опробование пород морского дна на глубину до 25 м (УМБ-130) и до 50 м (УМБ-130М) [1]. Эти установки реализуют бесколонную технологию бурения, что значительно снижает стоимость буровых работ, в том числе, за счёт возможности использования их на различных плавсредствах, а не только на специальном буровом судне. Результаты эксплуатации установок в промысловых условиях показали, что одним из путей повышения эффективности их применения является использование более совершенных распределительных узлов гидроударного бурового снаряда, обеспечивающих в течение рейса многократное переключение режимов его работы: с отбором керна и бескерновой. Такое решение позволяет сократить время на сопутствующие операции, а также повысить механическую скорость бескернового бурения в прочных глинистых грунтах.

В процессе исследования проводился сравнительный анализ работы разных конструктивных схем распределительных узлов, позволяющих переключать режим работы бурового снаряда только за счёт регулирования подачи жидкости (морской воды) без остановки процесса бурения, в том числе и предложенных ранее [2, 3]. Для пяти схем распределительных узлов было проведено моделирование течения жидкости в них на различных фазах работы. Моделирование выполнялось методом конечных элементов в системе Ansys. Пример моделирования одной из одноэлементных схем распределительного узла приведен на рис. 1.

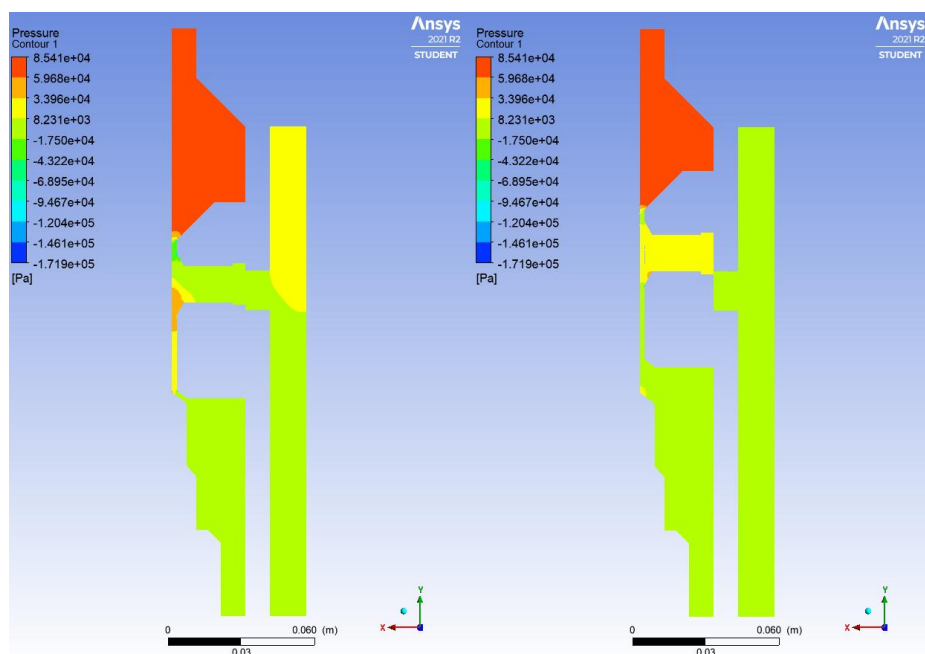


Рисунок 1. Пример моделирования одноэлементного распределительного узла гидроударного бурового снаряда установки серии УМБ-130

Полученные результаты моделирования позволили определить преимущества и недостатки отдельных конструкций распределительных узлов и определить их рациональные параметры для эксплуатации в буровых снарядах установок УМБ-130 и УМБ-130М. Одноэлементные распределительные узлы являются более предпочтительными с точки зрения простоты их настройки для различных условий эксплуатации.

Результаты моделирования, подтвержденные лабораторными испытаниями, показали, что исследованные схемы одноэлементных распределительных узлов обеспечивают их надёжное срабатывание. Они могут заменить применяемые в настоящее время двухэлементные распределительные устройства, поскольку обеспечивают надёжное срабатывание как при повышении расхода жидкости, так и при его снижении.

Список литературы:

1. Калиниченко О. И. Гидроударные буровые снаряды и установки для бурения скважин на шельфе / О. И. Калиниченко, П. В. Зыбинский, А. А. Каракозов. – Донецк: «Вебер», 2007. – 270 с.
2. Погружная гидроударная установка: Патент № 78588 UA E21B25/00 / А. А. Каракозов, О. И. Калиниченко, П. В. Зыбинский. – Оpubл. 10.04.2007, бюл. №4.
3. Гидроударный буровой снаряд : Патент на полезную модель №77466 UA E21B 25/00, E21B 4/00 / О.И. Калиниченко, А.В. Хогуля, А.А. Каракозов. – Оpubл. 11.02.2013, бюл. №3.

Научный руководитель: к.т.н., доцент А.А. Каракозов

ВАСИЛЬЕВ Д.А.

Санкт-Петербургский горный университет

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА БУРЕНИЯ СНЕЖНО-ФИРНОВОГО ГОРИЗОНТА С ПРОДУВКОЙ ВОЗДУХОМ В РАЙОНЕ СТАНЦИИ ВОСТОК

VASILEV D.A.

Saint Petersburg Mining University

EXPERIMENTAL RESEARCH OF ICE-FIRN LAYER AIR DRILLING AT VOSTOK STATION AREA

Сотрудниками НЦ «Арктика» Санкт-Петербургского Горного университета были подготовлены [1] и успешно проведены экспериментальные исследования по изучению процесса бурения снежно-фирнового горизонта высокогорных ледников с использованием сжатого воздуха в качестве очистного агента. Исследования проводились в сезон 67 РАЭ (Российская Антарктическая Экспедиция) в районе внутриконтинентальной антарктической станции Восток.

Изучение истории климата планеты является важной фундаментальной задачей, решением которой занимается наука палеоклиматология (наука об изучении климата до периода инструментальных измерений). Керновый материал, полученный при бурении

ледников, является важным источником палеоклиматической информации, изучая который можно получить самые достоверные данные о составе атмосферы в прошлом. Особый интерес для ученых представляют образцы древнего льда, поиск которых ведется на ледяных щитах Антарктиды и Гренландии [2]. Бурение скважин в верхних слоях ледника осложнено тем, что снег и фирн, из-за своей пористой структуры, проницаемы для очистных агентов. Потеря очистного агента в скважине приводит к затруднению процесса бурения или к его полной остановке. В рамках реализации проекта комплексных исследований подледникового озера Восток возникает необходимость создания отечественной эффективной технологии бурения проницаемых снежно-фирновых горизонтов Антарктиды и технических средств её реализации.

Цель экспериментальных работ заключается в сборе необходимых данных для обоснования и разработки технологии бурения снежно-фирнового горизонта снарядами на грузонесущем кабеле с обратной призабойной циркуляцией сжатого воздуха.

Для достижения поставленной цели был запланирован и решен ряд задач:

1. Бурение неглубокой скважины VK-22 (30 м) с целью добычи кернового материала и ледяного шлама в качестве объектов исследования в ходе проведения экспериментальных работ;
2. Определение фракционный состава и насыпной плотности ледяного шлама по всей глубине скважины, определение насыпной плотности для отдельных фракций шлама;
3. Определение плотности массива по снежно-фирновым кернам по всей глубине скважины;
4. Определение скоростей витания для частиц бурового шлама различной крупности и с различных горизонтов залегания;
5. Определение скорости воздушного потока для эффективного транспортирования ледяного шлама;

Первый этап исследований проводился в 700 м от станции Восток. Буровая установка со всем вспомогательным оборудованием была доставлена на площадку бурения на санях, буксируемых снегоходом. Буровые работы велись 3 дня, на достижение глубины забоя 30 м было затрачено 14,5 часов, без учета времени на подготовку площадки бурения и консервацию скважины. Было выполнено 59 рейсов, выход керна составил 100%. С каждого рейса были отобраны снежно-фирновые керны и образцы ледяного шлама. Керны и шлам упаковывались в отдельные пластиковые рукава и подписывались согласно номеру рейса и интервалу бурения. Чтобы узнать в каких соотношениях по крупности распределяются частицы шлама, был применен метод ситового анализа. Для каждого рейса фракционный состав шлама определялся по трем независимым пробам массой 200 г каждая, которые поочередно рассеивались на ситах, по результатам рассевов выводилось среднее значение для интервала.

Плотность массива снежно-фирновой зоны в районе бурения определялась по кернам. Насыпная плотность ледяного шлама определялась с помощью специального стенда по методике определения плотности сыпучих материалов. Для каждого рейса среднее значение насыпной плотности шлама принималось по результатам трёх независимых измерений. Для эксперимента по определению скоростей витания были отобраны 5 образцов шлама с различных горизонтов (5, 10, 15, 20, 25, 30 м). Для определения скоростей витания использовался специально изготовленный для этой задачи экспериментальный стенд. Визуально зафиксировав уравновешенное положение частиц, производилось измерение скорости воздушного потока. Для эксперимента по

определению скорости восходящего потока необходимого для эффективной транспортировки шлама от забоя в шламособорные фильтры было использовано второе исполнение экспериментального стенда. По итогам серии экспериментов было установлено, что эффективная скорость потока воздуха составляет 6,2 м/с. При этой скорости шлам в полном объеме переносится с сетки в фильтр, до его полного заполнения.

Изучение кернового материала и шлама, полученного по результатам бурения скважины VK-22 позволяет сделать ряд выводов. Фракционный состав шлама и преобладающая фракция изменяются с увеличением глубины скважины. Помимо этого, форма шламовых частиц также меняется с глубиной. Шлам с верхних горизонтов представляет собой округлые частицы неправильной формы, которую можно описать как «компактную» (изометрическую) [3]. Шлам с более глубоких горизонтов имеет угловатую пластинчатую форму. Форма ледяных частиц напрямую влияет на насыпную плотность шлама, значение которой снижается с увеличением глубины скважины. Значение скорости витания также зависит от формы частиц, движущихся в потоке воздуха. Как известно, чем больше форма тела подобна сфере, тем выше будет скорость витания для данного тела, т.к. угол атаки для сферы неизменен и миделево сечение тела (наибольшее по площади поперечное сечение тела, движущегося в среде) постоянно. Значение требуемой скорости потока воздуха для эффективного транспортирования ледяного шлама (6,2 м/с), полученное в результате серии экспериментов на 22% больше среднего значения скорости витания для наиболее крупной фракции (5,1 м/с). Это подтверждает исследования, проводимые ранее другими научными коллективами, так, Б.Б. Кудряшов утверждал [3], что эффективная скорость транспортирования превышает скорость витания на 20%.

Данные, полученные в результате экспериментальных работ, послужат основой для создания нового электромеханического снаряда на грузонесущем кабеле с призабойной циркуляцией сжатого воздуха.

Автор данной работы, под руководством научного руководителя, принимал участие во всех вышеописанных экспериментальных исследованиях и выполнял полностью отдельные этапы работ.

Список литературы:

1. А.В. Большунов, Д.А. Васильев, С.А. Игнатьев, А.Н. Дмитриев, Н.И. Васильев. Механическое бурение ледников с очисткой забоя сжатым воздухом. ЛёдиСнег. 2022. №1, Т62. С 35-46.
2. Fourteau K., Arnaud L., Faïn X., Martinerie P., Etheridge D., Lipenkov V., Barnola J. Historical porosity data in polar firn // Earth System Science Data. 2020. № 12. P. 1171–1177. doi: 10.5194/essd-12-1171-2020.
3. Кудряшов Б.Б., Кирсанов А.И. Бурение разведочных скважин с применением воздуха. М.: Недра, 1990. 263 с.

Научный руководитель: к.т.н., научный руководитель лаборатории А.В. Большунов

**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ БУРОВОГО РАСТВОРА НА ОСНОВЕ
КОНЦЕПЦИИ УСТОЙЧИВОСТИ СТВОЛА СКВАЖИНЫ**

JALAKANI REZA, TABATABAEE MORADI SEYYED SHAHAB
Sahand University of Technology

**SELECTION OF OPTIMUM DRILLING FLUID DENSITY BASED ON WELLBORE
STABILITY CONCEPTS**

Drilling Fluids serve various important functions in well construction process. Maintaining the stability of the wellbore is one of the important drilling fluid functions. The performance of drilling fluids is affected mainly by three main factors; i.e, drilling fluid density, drilling fluid viscosity and mud pH. Mud weight (MW) is defined as the density of drilling mud (mass divided by volume), usually expressed in pounds per gallon (ppg). Objective of this study is to select the mud weight based on wellbore stability concepts [1, 2].

Wellbore instability can induce high costs on drilling schedule. During the drilling, borehole breakout and drilling induced fractures are the two main instability problems, which may lead to stuck pipe, reaming operations, sidetracking, and loss circulation. These problems can be often addressed by selecting a suitable mud weight for drilling. This is typically carried out using a constitutive model to estimate the stresses around the wellbore [3].

Figure 1 shows the three main induced stresses acting on borehole wall [4]. The radial stress acting on the borehole wall is actually the pressure exerted by the drilling fluid. The axial stress is equal to the overburden load. Tangential stress (or as it is sometimes called hoop stress) acts around the circumference of the hole.

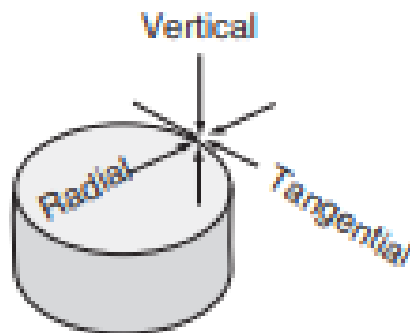


Figure 1. Stresses acting on borehole well [4]

Figure 2 helps to understand the borehole failure mechanisms in the context of the borehole stresses. The three stress components are plotted as a function of borehole pressure. The vertical stress, or the overburden, is not influenced by the mud weight and remains constant. The radial stress is equal to the borehole pressure and therefore increases as the well pressure increases. However, the tangential stress decreases with increased borehole pressure [4].

Based on the well stability concepts, the optimum mud weight is the value, where the radial and tangential stresses are equal.

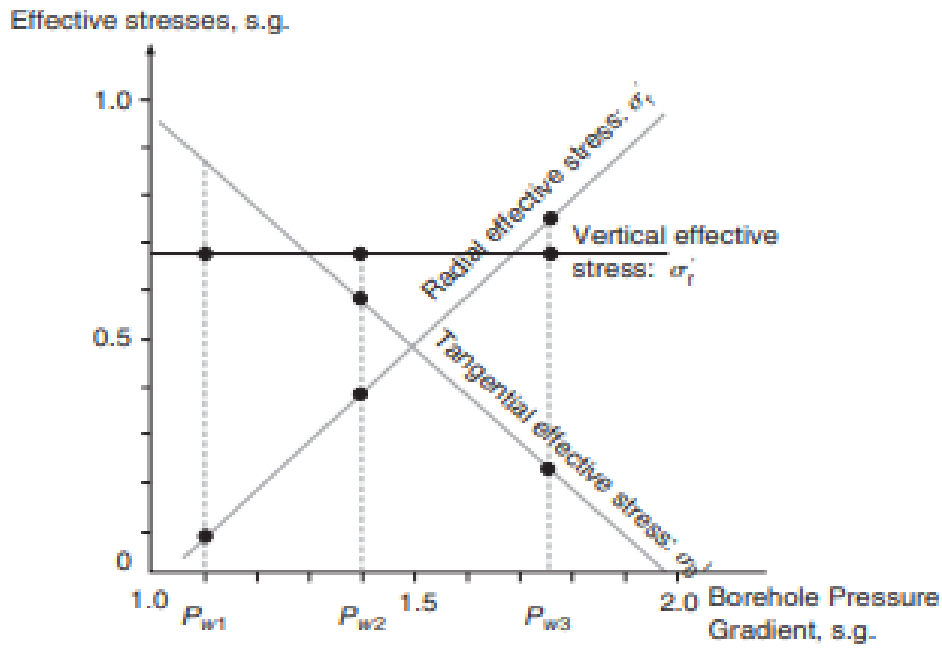


Figure 2. Stresses acting on borehole well [4]

In this work, drilling data are analyzed to calculate the magnitude of the induced stresses at the borehole wall. The stresses are shown in Figure 3.

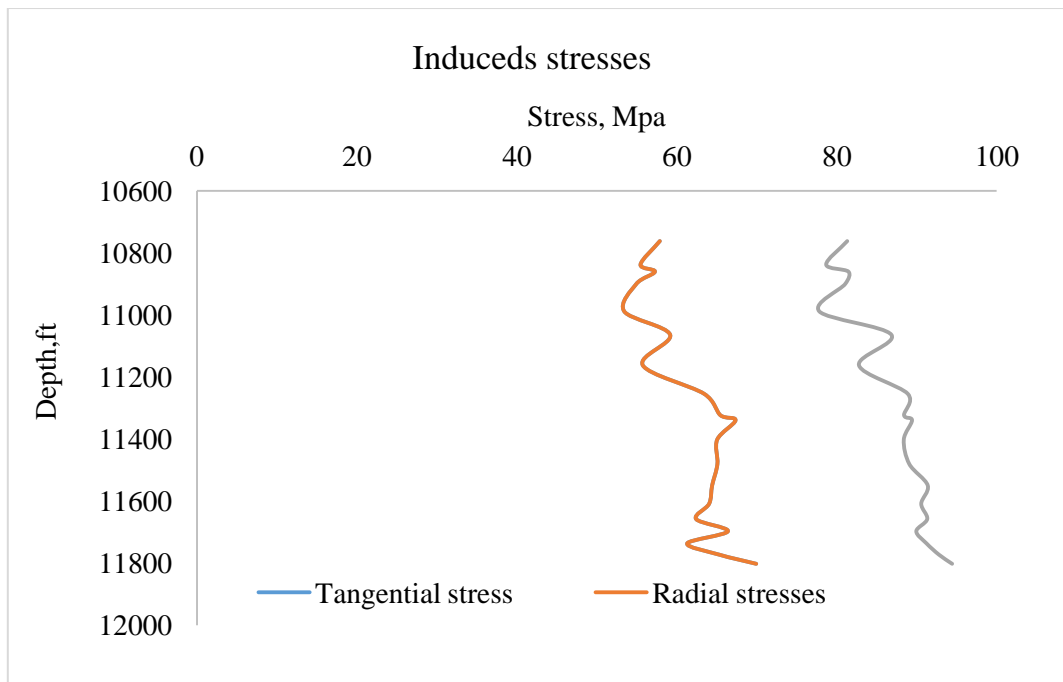


Figure 3. Calculated stresses at borehole wall

After that, optimum mud weight is selected in such a way to equalize the radial and tangential stresses.

List of references:

1. Caenn, Ryen, V. Chillingar, George. (1995), Drilling fluids: State of the art. Journal of Petroleum Science and Engineering , I4 (1996) 221 -230
2. Chilingarian, G. V. and Vorabutr, P., 1981. Drilling and drilling fluids, Elsevier, Amsterdam, 430 767 p.
3. Gholami, R, Moradzadeh, A, Rasouli, V, Hanachi, J. (2014). Practical application of failure criteria in determining safe mud weight windows in drilling operations. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 6, 1, 13-25. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jrmge.2013.11.002>
4. Aadnoy, Bernt S. (2010). Modern Well Design: 2nd Edition. Petroleum Exploration and Development. 13:978-0-203-83613-2,6000 Broken Sound park way, NW.

Supervisor of studies: PhD petroleum engineering, assistant professor Tabatabaee Moradi Seyyed Shahab

КАЗАКУ В.В.

Сколковский институт науки и технологий

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ, РАССЧИТЫВАЮЩЕГО ПАРАМЕТРЫ ПУЛЬСИРУЮЩЕЙ ПРОМЫВКИ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИНАХ

KAZAKU V.V.

Skolkovo Institute of Science and Technology

DEVELOPMENT OF SOFTWARE THAT CALCULATES THE PARAMETERS OF PULSATING FLUSHING IN HORIZONTAL WELLS

Одним из наиболее важных вопросов строительства направленных скважин является проблема эффективной транспортировки из скважины частиц шлама. Неэффективная очистка скважины является первопричиной накопления выбуренной породы в стволе.

Самая распространенная проблема, которая вызывается из-за скопления выбуренной породы в стволе скважины, является механический прихват бурильной колонны. Примерно 30 % всех прихватов в вертикальных скважинах связаны с проблемой очистки ствола, а в наклонно-направленных и горизонтальных скважинах – более 80 %. «Шламовые подушки» являются причиной посадок при спуске бурильной колонны и зарезке боковых стволов. Скапливающаяся в скважине выбуренная порода весьма усложняет проходимость каротажных приборов. При этом нередко появляется нужда в дополнительной проработке скважины. В этом случае, также вызываются проблемы при спуске обсадных колонн.

По характеру движения промывочной жидкости промывка бывает стационарной, импульсной и комбинированной.

Были смоделированы схемы промывки в программе Solid Works. Программа позволяет рассчитать широкий спектр задач с учетом реальных условий. Движение текучей среды моделируется при помощи системы уравнения Навье-Стокса,

описывающих нестационарные процессы законами сохранения импульса, массы и энергии этой среды:

$$\rho \frac{d\omega_x}{dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 \omega_x$$

$$\rho \frac{d\omega_y}{dt} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \nabla^2 \omega_y$$

$$\rho \frac{d\omega_z}{dt} = -\rho g - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \nabla^2 \omega_z$$

В качестве граничных условий могут быть заданы:

- Условия на стенке
- Параметры потока на входе и выходе с учетом теплообмена
- Теплопритоков
- Притоков жидкости

На рисунке 1 нами смоделировано движение шлама в модели “горизонтальная скважина”. Из рисунка заметно, что частицы шлама осаждаются не только в горизонтальном участке скважины, но и на нижней стенке наклонно-направленном стволе. При этом в местах скопления шлама образуется “постель”, которая мешает дальнейшему выносу. Причиной нарушения эффективной промывки ствола скважины являются не только гидродинамические показатели бурения, но и геометрия затрубного пространства и профиля ствола скважины.

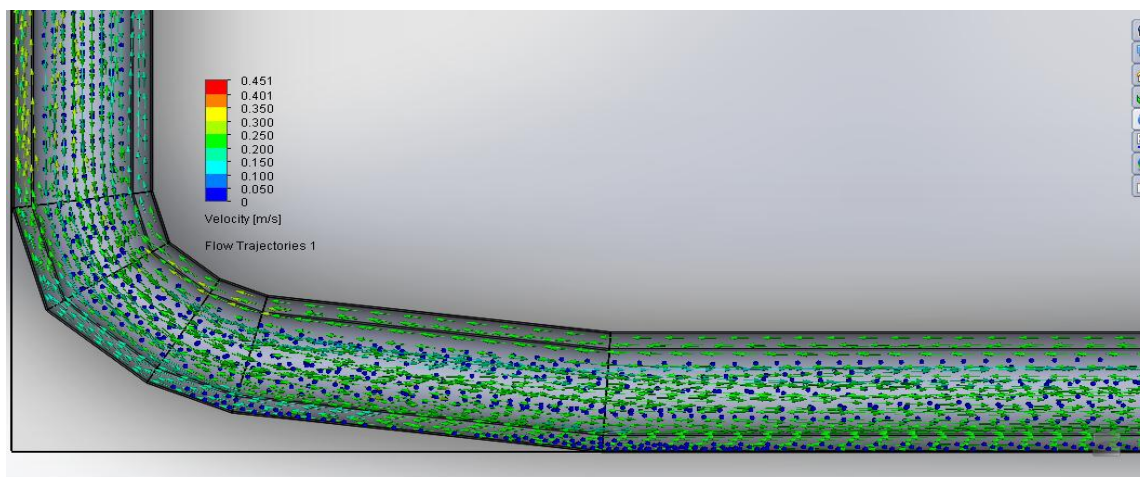


Рисунок 1. Векторы распределения скоростей и частицы шлама в ней (модель скважины)

На рисунке 2 нами смоделировано движение шлама в модели “горизонтальная скважина”. Из рисунка заметно, что частицы шлама передвигаются пульсирующим потоком, образуя движущиеся дюны не только в горизонтальном участке скважины, но и на нижней стенке наклонно-направленном стволе. При этом обеспечивается эффективный вынос шлама по всему стволу скважины.

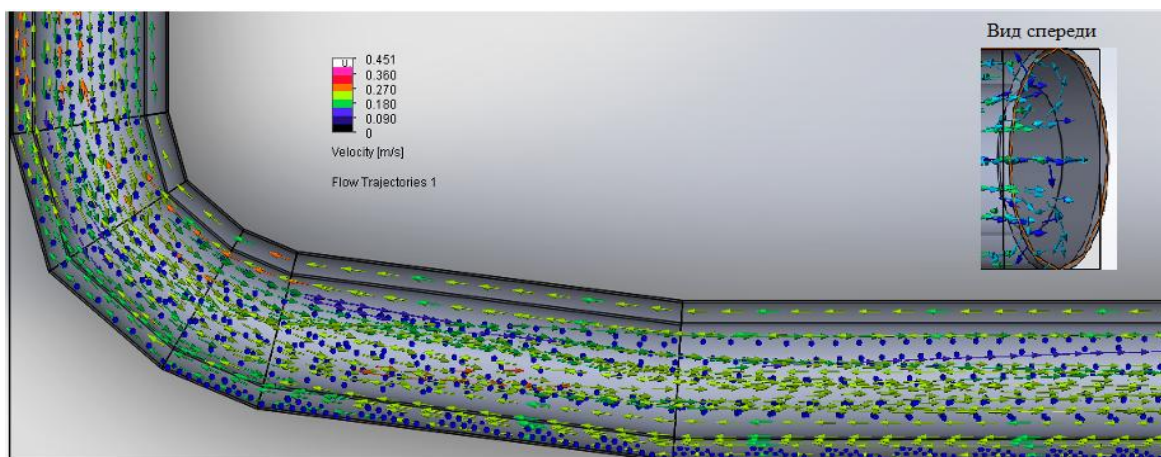


Рисунок 2. Векторы скоростей с частицами шлама при пульсирующем потоке (модель скважины).

В заключении хочется отметить, что шлам накопленный в горизонтальном участке скважины эффективнее промывается пульсирующим потоком промывочной жидкости. Также при использовании компьютерного моделирования действительно складывается модель образования дюн, полностью отражается поведения шлама в скважине, т.е. модель работает и ее можно рекомендовать к применению.

Список литературы:

1. Райхерт Р. С., Цукренко М. С., Оганов А. С., Техничко-технологические решения по очистке наклонно-направленных и горизонтальных стволов скважин от шлама// Нефть. Газ. Новации.-2016. – №3.
2. Пушмин П. С., Романов Г. Р. Проблемы промывки наклонно-направленных скважин// Известия Сибирского отделения секций наук о Земле РАН.-2014. – №3.
3. Иванников В. И., Иванников И. В., Вопросы промывки горизонтальных скважин при бурении. // Инженер-нефтяник. – 2009, №1. – с.8÷13.
4. Тунгусов С. А. Изучение влияния пульсирующей промывки на вынос шлама при бурении наклонно направленных скважин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2008.-№ 5. – С.18-21.
5. Савоськин С. В, Шведова И. Н. Наклонно-направленное разведочное бурение: преимущества, проблемы и способы решения// Геология, география и глобальная энергия.-2014.-№4.

Научный руководитель: профессор, заместитель директора CREI по экспериментальным исследованиям А.Н. Черемисин

КАЛЕНДАРОВА Л.Р., ОВЕЗОВ Б.А., ЧЕКАЛОВ А.Ю.

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго
Орджоникидзе (МГРИ)

**АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА
ПЕРЕДАВАЕМОЙ ИНФОРМАЦИИ В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ**

KALENDAROVA L.R., OVEZOV B.A., CHEKALOV A.YU.

Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRI)

**A HARDWARE COMPLEX TO INCREASE THE AMOUNT OF TRANSMITTED
DATA WHILE DRILLING**

В работе предлагается новый метод и обоснование его эффективности для реализации передачи данных в режиме реального времени при бурении скважин. Представлен аппаратный комплекс, который комбинирует в себе различные каналы связи, а также на участке с гидравлическим каналом предлагается внедрение троичного кодирования. Передача информации будет отбираться с наддолотного модуля, расположенного в непосредственной близости к буровому инструменту.

Исследование проводится при поддержке Фонда содействия инновациям по Договору № 566ГУЦЭС8-D3/62066 от 08.10.2020.

Актуальность исследования. Согласно исследованиям, проводимым аналитиками компании Deloitte [5], целевые рынки нефтесервисных и геофизических исследований растут и являются наиболее перспективными в нефтегазовой индустрии в виду детальных исследований и тенденции бурения наклонно-направленных и сверхглубоких скважин. Описанный аппаратный комплекс позволит выйти на новый уровень измерений в процессе бурения и выведет развитие нефтегазового сегмента на новый уровень. В нефтегазовой индустрии в настоящее время измерения в процессе бурения стали неотъемлемой частью бурового процесса. Скорость передачи данных с забоя скважин не удовлетворяют развитию современной отрасли. Бурение сверхглубоких скважин – новый тренд, к которому стали стремиться все добывающие компании, ведь углеводороды, находящиеся в приповерхностных глубинах, заканчиваются. Появляется потребность в новых продуктивных пластах на других глубинах. Для сверхглубокого бурения как никогда необходимы новые технологии, способствующие развитию всего процесса.

Цели и методы исследования. Для оценки применимости совмещения гидравлического и акустического каналов передачи данных была построена лабораторная модель в программном пакете Matlab среде Simulink. Конечной целью работы является создание функционирующего аппаратного комплекса, который включает в себя комбинированный канал связи, троичное кодирование и наддолотный модуль с датчиками гамма-каротажа и электромагнитного каротажа для измерения удельного электрического сопротивления.

Основная часть. Комбинирование акустического и гидравлического канала связи имеет ряд преимуществ по сравнению с другими комбинациями [2]. Гидравлический канал может передавать информацию с высокой скоростью и позволяет использовать троичное кодирование, а акустический канал при использовании ретрансляторов передает данные на поверхности с высокой скоростью и без затухания.

С применением наддолотного модуля можно получить точную информация о реперных пластах [1]. Помимо этого, можно уточнить глубину расположения кровли продуктивного пласта относительно забоя и угол падения пласта в азимуте бурения горизонтального ствола. Наличие реперного пласта позволяет определить радиус траектории бурения, обеспечивающий проектный угол вскрытия кровли пласта. Наддолотный модуль позволяет получить информацию о реперном пласте сразу после его вскрытия. Возможно и выполнение корректировки траектории бурения к целевому пласту в пределах допустимых значений радиуса кривизны ствола скважины. По двум азимутально расположенным каналам гамма-каротажа в НДМ четко отбивается глинистая покрывка и фиксируется вход в продуктивный коллектор. После того, как граница пласта отбита, бурение останавливается. Далее производится подъем инструмента и спуск обсадной колонны. При таком способе отбивки кровли пласта необходимость в проведении привязочного каротажа исчезает. Разумеется, с использованием наддолотного модуля сократится расстояние до долота, что в свою очередь позволит оперативно корректировать направление бурения скважин. В результате, данные полученные с двух датчиков наддолотного модуля по комбинированному каналу будут передаваться на поверхность и принимающее устройство в режиме реального времени будет фиксировать полученные значения [4].

Реализация троичного кодирования осуществляется путем внедрения второго клапана для перепуска жидкости в затрубное пространство. Таким образом, возможно несколько взаимных положений двух клапанов: сигнал «0» соответствует для закрытого положения двух клапанов, «1» - открытого и «-1» - для открытого положения одного из клапанов и закрытого другого. Изменение давление с помощью положений клапанов позволяет передавать информацию с помощью троичного кода.

Комбинирование гидравлического с акустическим каналом значительно улучшит технологию бурения наклонно-направленных и горизонтальных скважин в сложных геологических условиях. Использование преимуществ каждого из сигналов и нивелирование недостатков позволило создать комбинированный канал передачи данных. Для этого участок бурения был поделен на две зоны. Акустический канал связи используется в приповерхностной зоне, так как имеет зависимость с затуханием с увеличением глубины, однако передача сигнала с помощью акустического канала достигает высокой скорости, а также имеет возможность использовать несколько каналов передачи данных для увеличения скорости передачи данных. Гидравлический канал - самый часто используемый в современном мире, используется в части с забоем [3]. В части с гидравлическим каналом предусматривается использование троичного кодирования, что увеличивает дополнительно скорость передачи данных. По сравнению с аналогами, скорость передачи данных будет увеличена в 1.58 раз благодаря троичному кодированию.

Результаты и направления их использования. В ходе работы над проектом была построена лабораторная модель, которая доказала эффективность описываемого аппаратного комплекса. Разработка справляется с основными заявленными функциями: передачей информации с высокой скоростью и с переводом данных из гидравлического в акустический канал, а также с передачей цифрового сигнала непосредственно на ПК.

Выводы и вклад каждого автора. Таким образом, созданный аппаратный комплекс будет широко использоваться в виду своих преимуществ, доказанных на основе теоретических и практических выводов, а также будет способствовать импортозамещению. Над проектом работает команда, состоящая из студентов МГРИ и Сколтеха во главе с научным руководителем.

Список литературы:

1. Методическое пособие к практическим занятиям по промышленной геологии. Казань –2016г. «Геофизические методы изучения геолого-промысловых характеристик продуктивных пластов» Ю.П.Балабанов, И.П. Зинатуллина [Электронный ресурс].
2. Патент РФ № 2013133000/03, 2013.07.16. Забойная телеметрическая система с наддолготным модулем и способ беспроводной передачи ее данных на земную поверхность// Патент России № 2549622. 2015. / Шайхутдинов Р.А., Чупров В.П.
3. Учебное пособие по дисциплине «Буровые промывочные и тампонажные растворы» / МГРИ-РГГРУ; сост. Соловьев Н.В. – Москва: МГРИ-РГГРУ, 2013. – 50 с.
4. Учебное пособие. Телеметрические системы в бурении. Акбулатов К.О., Л.М. Левинсон, М.Р. Мавлютов. Уфа 1999г.
5. Deloitte [Электронный ресурс]. – Электрон <https://www2.deloitte.com/ru/ru/pages/energy-and-resources/articles/2020/oil-gas-survey-russia-2020.html> . Дата обращения: 22.03.2022. – Загл. с экрана.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Н.В. Соловьев

КАМАЕВ Д.Р.

Самарский государственный технический университет

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТАМПОНАЖНОГО МАТЕРИАЛА, ПОДВЕРГНУТОГО ВЛИЯНИЮ АГРЕССИВНОГО АГЕНТА

KAMAEV D.R.

Samara State Technical University

METHOD FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF PLUMBING MATERIAL EXPOSED TO THE INFLUENCE OF AN AGGRESSIVE AGENT

В предыдущих работах автора была предложена математическая модель процесса сероводородной коррозии, целью реализации которой является расчет времени эксплуатации тампонажного материала на стадии его проектирования.

Таким образом, необходимо определить время коррозионного разрушения тампонажного материала под воздействием сероводорода в концентрации, которая присуща продуктивному пласту в данных термобарических условиях.

Для установления закономерности изменения концентрации основных ионов, входящих в исходный состав и в процессе его взаимодействия с агрессором, могут быть использованы методы качественного и количественного определения ионного состава начальных продуктов и продуктов реакции в установленные временные интервалы и при обозначенном диапазоне температур.

Изменение структуры тампонажного камня далее анализируется по значениям пористости, определенной микроскопическим методом и проницаемости по газу по схеме В.С. Данюшевского. Анализ продуктов реакции в сравнении с исходным материалом проводится методом электронно-структурной микроскопии на микроскопе марки Joel,

который дает возможность фиксации качественного и количественного изменения концентраций основного ионного состава.

Для получения данных для расчета необходимо определить скорость химических реакций, а это практически неразрешимая эмпирическим путем задача. Поэтому следующим этапом является составление плана эксперимента и определение всех необходимых величин экспериментальным методом.

Алгоритм проведения исследования по определению параметров, которые должны входить в математическую модель, выглядит следующим образом:

1. Подготовка образцов тампонажного цемента разных марок и с различными комплексами для их обработки с целью придания им нужных технологических свойств (плотности, растекаемости, СНС, динамической и пластической вязкостей, время набора консистенции, прочностных характеристик). Стоит отметить, что исследуемые цементы представлены несколькими вариациями составов, в том числе и стандартный ПЦТ-IG-СС-2.

2. Разработка установки для получения водного раствора сероводорода с концентрацией, соответствующей его содержанию в пласте.

3. Контроль для обеспечения стабильной концентрации проводится методом титрования. Полученное значение используется для определения кинетики процесса (скорости химической реакции данного образца тампонажного камня с раствором сероводорода).

4. Количество прореагировавших составляющих камня (алюминатов, силикатов, ферритов и т.д.) исследуется путем количественного анализа продуктов реакции. Эксперимент проводится с использованием измельченного тампонажного камня для обеспечения большей реакционной поверхности.

5. Составляется стехиометрическое уравнение для каждого компонента цементного камня с сероводородом с последующим расчетом скорости химической реакции, значение которой входит в модель.

6. Перед определением газовой проницаемости стандартные образцы тампонажного камня помещаются в раствор сероводорода нужной концентрации под вакуум (-1 атм.) для обеспечения объемной реакции всех компонентов.

7. На установке по газопроницаемости определяются коэффициенты фазовой проницаемости, которые также нужны для реализации модели.

8. Изменение структуры тампонажного камня далее анализируется по значениям пористости, определенной микроскопическим методом и проницаемости по газу по алгоритму В. С. Данюшевского. Анализ продуктов реакции в сравнении с исходным материалом проводится методом электронно-структурной микроскопии на микроскопе марки JEOL, который дает возможность фиксации качественного и количественного изменения концентраций основного ионного состава.

9. Устанавливается тенденция изменения качественного и количественного состава продуктов реакции в результате изменения свойств тампонажного камня, концентрации сероводорода, температурного режима и времени агрессивного воздействия от двух суток до месяца.

10. Ведутся расчеты параметров в соответствии с требованиями ГОСТ с использованием программных средств.

Конечной целью разработки модели и ее решения является расчет времени эксплуатации тампонажного материала при воздействии коррозионно-активной среды, в частности, сероводорода. Решение модели даст возможность подбора оптимального состава

тампонажного материала для определенных горно-геологических условий соответственно увеличить срок службы скважины и безаварийный период.

Список литературы:

1. Булатов А.И. и др. Влияние сероводородсодержащих пластовых вод на коррозионную стойкость цементного камня / А.И.Булатов, Н.А.Иванова, Д.Ф.Новохатский // Нефтяное хозяйство.- 1981.-№7.- С.27-30.
2. Живаева В.В., Воробьев С.В. Особенности формирования структуры тампонажного материала под влиянием комплексных реагентов // Проблемы геологии и освоения недр: Тез. докл. 2-й Междунар. конф. (Томск, 1998).-1998.- С.75.
3. Живаева В.В., Демин М.В., Воробьев С.В. Возможность планирования коррозионной стойкости тампонажного камня путем исследования его структуры в период формирования и эксплуатации // Проблемы геологии и освоения недр: Матер. 3-й Междунар. конф. (Томск, 1999).- 1999.- С.279.
4. Камаев Д.Р., Живаева В.В., Цивинский Д.Н. Определение параметров тампонажного материала и влияние на коррозионную стойкость к агрессивной среде сероводорода. Нефть. Газ. Новации. 2021. № 1 (242). С. 71-73.
5. Kamaev D. R. Study of the effect of corrosive-active agents on the plugging material destruction processes. Topical issues of rational use of natural resources. XVII International forum-contest of students and young researchers. Under the auspices of UNESCO. Scientific conference abstracts. Volume 1. P.62-64.
6. Камаев Д. Р. Изучение воздействия коррозионно-активных агентов на процессы разрушения тампонажного материала. Сборник XIX Всероссийской Конференции-конкурса студентов и аспирантов "Актуальные проблемы недропользования".

Научный руководитель: к.т.н., доцент В.В. Живаева

КОВАЛЕВА К.О.

Самарский государственный технический университет

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ БУРОВОЙ РАСТВОР НА ВОДНОЙ ОСНОВЕ ДЛЯ
ИНГИБИРОВАНИЯ ОБВАЛОПАСНЫХ АРГИЛЛИТОВ**

KOVALEVA K.O.

Samara State Technical University

**HIGHLY PERFORMANCE WATER-BASED DRILLING MUD FOR INHIBITION
OF ROCKFALL MUDSTONES**

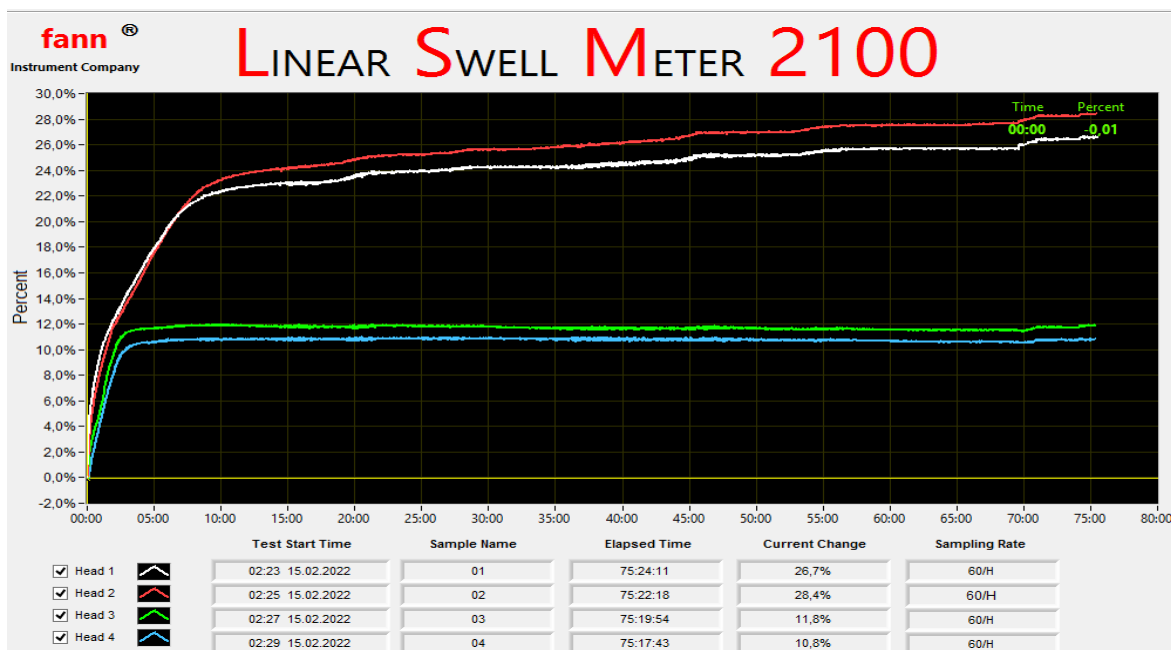
Практика строительства нефтяных и газовых скважин показывает, что процесс бурения практически всегда сопровождается осложнениями в виде осыпей и обвалов стенок скважин в интервалах активных глин. Наибольший интерес вызывают отложения трещиноватых аргиллитов, так как они изучены недостаточно, вследствие чего возникают сложности в выборе способа сохранения их целостности. Одной из приоритетных задач на сегодняшний день является разработка высокоингибирующих систем промывочных жидкостей для проводки скважин в осложнённых условиях.

Одним из решений предотвращения осыпей и обвалов горизонтов, сложенных аргиллитами с прослойками глин различного типа, предлагается использовать HPWBM – High Performance Water Based Mud – высокоэффективный буровой раствор на водной основе, который сочетает в себе высокую технологичность растворов на углеводородной основе и экологическую безопасность растворов на основе воды. Суть системы заключается в механизме тройного ингибирования породы, реагентами которого являются органический и неорганический ингибиторы, а также высокомолекулярный инкапсулятор. Комплексное воздействие всех трех реагентов препятствует проникновению водной фазы и дальнейшему переносу гидростатического давления в глубь трещины аргиллита.

Реагенты входящие в состав рецептуры высокоэффективного бурового раствора эффективно регулируют реологические свойства буровых растворов, а также влияют на устойчивость раствора к коагуляционным процессам и деструкции. Отличительной особенностью высокоэффективного раствора является способность ингибирования активных глин, а также способ инкапсуляции образцов шлама, что в свою очередь позволяет избежать диспергирование глинистых частиц в растворе.

Основываясь на данных мировой практики, было принято решение использовать в рецептуре раствор популярный неорганический реагент ингибитор - хлорид калия. Это обусловлено тем, что из всех существующих ионов, именно калий способен наиболее эффективно снижать гидратацию глин [1]. Вторым главным компонентом был выбран реагент Полиэколь компании ПОЛИЦЕЛЛ, с его помощью достигается синергетический эффект с хлоридом калия. За счет высокой ингибирующей способности и поверхностно-активных свойств стабилизирует реологические свойства раствора.

В ходе эксперимента высокоэффективный буровой раствор на водной основе оценивали показателем линейного набухания на приборе Linear Swell Meter 2100. Для данной оценки были использованы образцы шлама с интервалов, сложенных аргиллитами, с прослойками различного типа глин и четыре исследуемые жидкости: HPWBM 1 с концентрацией органического ингибитора и инкапсулятора 1 %, HPWBM 2 с концентрацией органического ингибитора и инкапсулятора 2 %, буровой раствор с ксантановой смолой и буровой раствор со скважины. На графике (рис. 1) показана зависимость набухания образца породы от времени набухания за 75 ч. В результате исследования было установлено, что образцы шлама, отобранного из интервала, сложенного аргиллитами, в разной степени подвержены разрушениям и набуханию. Высокоэффективный буровой раствор в данном эксперименте показал наилучшие результаты – стабильный показатель линейного набухания на протяжении всего эксперимента, а также предотвращение и замедление набухания образца породы.



- - HPWBM 1; ○ - буровой раствор со смолой;
- - HPWBM 2; • - бентонитовый раствор;

Рисунок 1. Зависимость показателя набухания глинистого образца от времени

На данном этапе исследования определено, что разработанная рецептура высокоэффективного бурового раствора обладает высокой ингибирующей способностью, позволяющая путем инкапсуляции частиц предотвратить процессы набухания и диспергирования. На основании чего предложенный буровой раствор рекомендуется для предотвращения осыпей и обвалов стенок скважин в осложненных интервалах.

Список литературы:

1. Давлетбердина И. Б. Ингибирующие свойства хлор-калиевого бурового раствора. Международный научный журнал «Инновационная наука» - №2, 2017.

Научный руководитель: к.т.н., доцент О.А. Нечаева

КУТУЗОВ П.А.
Санкт-Петербургский горный университет

**РАЗРАБОТКА ОПТОВОЛОКОННОЙ ТЕЛЕМЕТРИИ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ
ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ ПРИ БУРЕНИИ
НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН**

KUTUZOV P.A.
Saint Petersburg Mining University

**FIBER OPTIC TELEMETRY ENGINEERING AND THEORETICAL
JUSTIFICATION OF IT'S IMPLEMENTION OPORTUNITY IN DRILLING OF OIL
AND GAS WELLS**

Исследование направлено на разработку способов реализации оптоволоконной телеметрии при бурении нефтяных и газовых скважин, в том числе со сложным пространственным профилем и большим отходом от вертикали. Проблема осложняется необходимостью спуска оптоволоконного кабеля при вращающейся бурильной колонне и экономической целесообразностью осуществлять каротаж и измерение параметров бурения непосредственно во время бурения без проведения дополнительных спуско-подъемных операций.

С каждым годом объем горизонтального бурения и доля его проходки в эксплуатационном бурении растет. Существует также тенденция увеличения длины горизонтального участка и роста бурения многозабойных скважин. Горизонтальные скважины не бурятся «вслепую» или по заранее определенной траектории. Для максимизации эффективности будущей добычи углеводородов осуществляется реактивная и проактивная геонавигация, которая позволяет оставаться в целевом насыщенном интервале. Распространенные каналы связи: гидравлический и электромагнитный – не справляются с современными требованиями высокоскоростной передачи большого объема информации, что связано со спецификой геологических разрезов месторождений Российской Федерации, ростом глубины по стволу, использованием азимутальных каротажных приборов, позволяющими получать имиджи, то есть каротажные кривые по всем секторам вокруг прибора. Оптоволоконная телеметрия может стать универсальным и высокоскоростным аналогом применяющихся на данный момент каналов связи.

Оптоволоконная телеметрия подразумевает передачу информации с забойного оборудования на устье скважины и наоборот при помощи света по оптоволокну, и по сути является проводным каналом связи. Оптоволоконная телеметрия по сравнению с электропроводным каналом имеет ряд преимуществ. Однако, несмотря на перспективность способа передачи данных по оптоволокну, он остается малоизученным в бурении и пока не нашел промышленного применения в технологиях строительства нефтяных и газовых скважин. В связи с этим была поставлена цель разработать способы реализации оптоволоконной телеметрии при бурении наклонно-направленных и горизонтальных скважин.

В рамках исследования предложен стенд для оценки герметичности оптоволоконных соединений. Для оценки границы применимости технологии в исследовании включены расчеты затухания сигнала по кабелю, потери на гидравлическое сопротивление при нахождении кабеля внутри бурильной колонны и

наличии циркуляции промывочной жидкости, нагрузок, действующие на кабель во время операций с бурильной колонной.

По текущим результатам научного исследования можно сделать следующие выводы:

1. существует практическая необходимость в создании высокоскоростного канала связи между устьевым оборудованием и забойной телеметрической системой, находящейся в составе компоновки низа бурильной колонны;
2. технология может быть реализована в современных условиях;
3. предложены инструкции по наращиванию оптоволоконного кабеля при проведении спуско-подъемных операций для двух способов: с использованием секционированного и непрерывного кабеля;
4. увеличенные временные затраты во время СПО могут нивелироваться оперативной геонавигацией, своевременными действиями по контролю вибраций, ростом механической скорости, меньшим временем, требуемым на установку отклонителя на забойном двигателе в требуемом направлении, что в итоге приведет к оптимизации сроков строительства скважин с возможностью проводки эффективных профилей.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Н.Ю. Кузнецова

КУШНЕР Л.Е.

Томский политехнический университет

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ РАСТВОРОВ НА УГЛЕВОДОРОДНОЙ ОСНОВЕ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

KUSHNER L.E.

Tomsk Polytechnic University

ANALYSIS OF METHODS FOR DISPERSING HYDROCARBON-BASED SOLUTIONS UNDER FIELD CONDITIONS

В работе представлен анализ различных способов диспергирования буровых растворов на углеводородной основе в полевых условиях. На данный момент в промышленном бурении широко применяют гидравлический диспергатор ДГ-40, использование которого требует существенной модернизации блока приготовления растворов: задействование дополнительного насоса и модернизация обвязки. В исследовании проанализированы различные диспергаторы, которыми можно заменить традиционный способ диспергирования бурового раствора и упростить и повысить скорость приготовления раствора на углеводородной основе. Один из рассматриваемых диспергаторов («Булава») может быть введен в промышленное бурение, его технические характеристики позволяют оптимизировать процесс сооружения скважин.

Актуальность исследования состоит в том, что любой раствор на углеводородной основе необходимо тщательно диспергировать для его стабильности, а использование традиционного диспергатора гидравлического ДГ-40 [5] не является оптимальным. Поскольку в его составе нет силового привода, нам необходим быстрый поток бурового

раствора, создавать который может только промышленный буровой насос. Также для диспергации 160 м³ РУО с помощью ДГ-40 требуется порядка 72 ч, что является довольно скромным показателем.

Для решения этих проблем рассматриваются различные способы диспергирования. Эти способы рассматриваются различными учёными и исследователями.

Целью данного исследования является обзор различных литературных источников на предмет анализа диспергаторов и способов диспергирования для введения в эксплуатационное бурение скважин.

В основной части рассмотрим два кавитационных диспергатора, которые могут стать заменой нынешнего: ультразвуковой диспергатор «Булава» (рис. 1), гомогенизатор-диспергатор роторного типа КЛМ-18 (рис. 2). Кавитация заключается в уменьшении давления ниже критического уровня [4].

Первым диспергатором для анализа является ультразвуковой диспергатор «Булава» (рис. 1), кавитация в котором вызывается многократной обработкой вещества в ультразвуковом поле высокой интенсивности [4].

Впервые для промышленного бурения его предложил ввести Коваль М.С. [2]. В своём исследовании он проанализировал технологию приготовления бурового раствора методом ультразвукового воздействия. Результаты оказались положительными. РУО, придиспергированные с помощью установки «Булава», не расслаиваются как после термостарения, так и при отстое на протяжении 14 сут.



Рисунок 1. Ультразвуковой диспергатор «Булава»

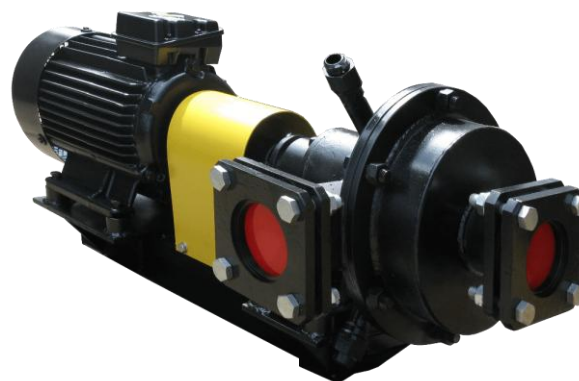


Рисунок 2. Коллоидная мельница КЛМ-18

Введение установки «Булава» требует затрат на погружной очиститель от ржавчины, поскольку она постоянно контактирует с буровым раствором. Вдобавок повышаются расходы на электроэнергию и амортизацию рабочего комплекса.

Приведена оценка экономической эффективности. По её результатам, укомплектование буровой 10 установками «Булава» в сравнении с гидравлическим диспергатором, окупится через 1 год после начала применения [2].

По нашему мнению, анализ не является объективным и исчерпывающим. Автор сравнивает производительность обеих установок только по выигранному времени. Но, зачастую, использование бурового насоса не требует простоя для процесса сооружения скважины. Например, во время цементирования скважины, устранения поломок и простоя по другим причинам.

Анализ литературы и открытых источников позволил найти еще одно решение: промышленный гомогенизатор-диспергатор роторного типа (рис. 2), использующийся для химических и пищевых комплексов. Чаще всего используется для смешивания с твердыми реагентами для получения высокодиспергированных, частично гомогенизированных жидких эмульсий и суспензий жидких составов [3].

Данный диспергатор оборудован насосным блоком, что позволяет не использовать буровой насос для его полноценной работы.

Производительность по воде коллоидной мельницы КЛМ-18 составляет 18 м³/час [6]. Если учесть, что в наших условиях мы используем реагенты более плотные и вязкие, то производительность будет составлять примерно 5-10 м³/час. То есть, для приготовления 160 м³ РУО потребуется 16-32 ч.

Роторно-статорный механизм плохо взаимодействует с абразивными частицами. Если их концентрация в растворе будет высокой, это может привести к быстрой поломке коллоидной мельницы.

В результате исследования рассмотрены различные достоинства и недостатки обозреваемых диспергаторов.

Самым важным преимуществом у гомогенизаторов-диспергаторов «Булава» и КЛМ-18 является полная автономность и независимость от бурового насоса и цементирующего агрегата, что не замедляет процесс строительства нефтегазовой скважины. Также эти устройства быстрее диспергируют буровой раствор, что экономит временные и материальные ресурсы.

Исходя из целей экономии и повышения ресурсоэффективности, можем сделать вывод, что ультразвуковой диспергатор «Булава» может быть введен в производство, эта целесообразность высказана ранее [6].

Коллоидная мельница КЛМ-18 требует дальнейших лабораторных исследований в области взаимодействия с РУО для последующего введения в промышленное бурение.

Список литературы:

1. Mi Swaco. Руководство по буровым растворам для инженеров-технологов. Ред. 2.1. США, 2009. – 992 с. – Текст : непосредственный.
2. Коваль М.С. Обоснование и разработка технологии приготовления буровых растворов на углеводородной основе методом ультразвукового воздействия: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. Наук: 25.00.15 / М.С. Коваль. – Самара, 2020. – 94 с. – Текст : непосредственный.
3. Диспергаторы роторные. Тип РДН : [сайт]. – URL: <https://100best.ru/content/tovary-i-predpriyatiya?i1=11223&i2=42775> (дата обращения: 08.03.2022). – Текст : электронный.
4. Кавитационный диспергатор : [сайт]. – URL: <https://mill.globecore.ru/tekhnresheniya/mashinostroitel'naya-promyshlennost/kavitacionnyj-dispergator.html> (дата обращения: 08.03.2022). – Текст : электронный.
5. Диспергатор гидравлический ДГ-40 : [сайт]. – URL: <https://remoil.ru/products/3/45> (дата обращения: 08.03.2022). – Текст : электронный.
6. Коллоидная мельница для пасты КЛМ-18 : [сайт]. – URL: <https://mill.globecore.ru/katalog/kolloidnaya-melnica/klm-18.html> (дата обращения: 08.03.2022). – Текст : электронный.

Научный руководитель: к.х.н., доцент К.М. Минаев

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УГЛЕКИСЛОТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЦЕМЕНТНЫЙ КАМЕНЬ

LAVRIK A.Y.
Saint Petersburg Mining University

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF CARBON DIOXIDE IMPACT ON CEMENT

Работа посвящена исследованию влияния углекислого газа на цементный камень при креплении скважин, произведена оценка составов существующих тампонажных смесей и предложена методика проведения эксперимента.

Достижение необходимого уровня темпов добычи углеводородного сырья обеспечивается, в частности, правильно выбранной технологией бурения скважин. Большинство нефтегазоносных вскрываемых пластов содержат в своем составе компоненты, являющиеся активными к цементному камню. Одним из агрессивных компонентов является углекислый газ. Многообразие факторов: разрушение гидратных оболочек фаз, диффузионная проницаемость цементного камня приводят к различному механизму взаимодействия агрессивных сред с цементным камнем и требуют дифференцированного подхода к выбору состава тампонирующих смесей за счет эксплуатации месторождений с агрессивными компонентами.

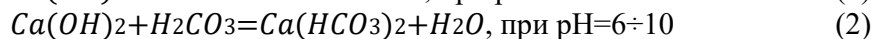
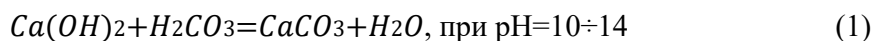
С увеличением глубины бурения становятся актуальными проблемы крепления скважин, обусловленные не только высокими забойными температурами, но и присутствием агрессивных пластовых флюидов, содержащих углекислоту, сероводород, соли. Технологии цементирования и виды применяемых цементов должны отвечать требованиям, согласно которым, полностью исключается проникновение агрессивных компонентов на поверхность.

Целью исследования является разработка рецептур тампонажного раствора с повышенной стойкостью цементного камня к углеводородной агрессии. Методы исследования включают компьютерное моделирование и эксперимент.

Анализ промысловых данных по Оренбургскому, Астраханскому, Уренгойскому месторождениям показывает, что в 70% скважин тампонажный камень подвергается воздействию коррозии. На сегодняшний день большое внимание уделяется борьбе с сероводородной коррозией, при этом составы разрабатываются в большей степени с учетом исключительного влияния сероводорода, при этом упускается влияние углекислоты. Именно для этого необходимо провести комплексную оценку стойкости тампонажного камня в условиях углекислотной коррозии [1].

Большинство месторождений содержат ионы HCO_3^- – совместно с агрессивными ионами Mg^{2+}, Cl^-, SO_4^{2-} , которые считаются более сильными по отношению к цементному камню, чем преимущественное содержание CO_2 в добываемом газе. Распространенное ошибочное мнение о слабом воздействии углекислоты объясняется тем, что при исследованиях не учитывается повышение растворимости углекислого газа с ростом давления, в пластовых условиях. Дополнительно коррозионный процесс осложняется тем, что в некоторых месторождениях интенсификация добычи нефти проводится с последующей закачкой углекислоты. В связи с этим повышение долговечности крепления скважины является актуальной задачей.

Химизм процесса углекислотного разрушения цементного камня под воздействием растворенной углекислоты описывается следующими реакциями. Продиссоциировавшая углекислота вступает в реакцию нейтрализации с гидроксидом кальция, содержащимся в поровом пространстве цементного камня:



Гидрокарбонат кальция попадает в окружающую среду, а карбонат кальция выпадает в осадок и снова растворяется поступающей угольной кислотой.



Вследствие отвода гидроксида кальция из цементного камня, происходит снижение уровня щелочности, это вызывает нарушение термодинамического равновесия гидратных фаз, которые под воздействием гидролиза растворяются и приводят к снижению прочности и последующему разрушению.

На рисунке 1 показана динамика изменения прочности на сжатие во времени проб портландцемента и CO₂-стойкого цемента EverCRETE, разработанного компанией «Шлюмберже» [2]. Длительная выдержка образцов показала существенное влияние углекислотных сред на прочность тампонажного камня.

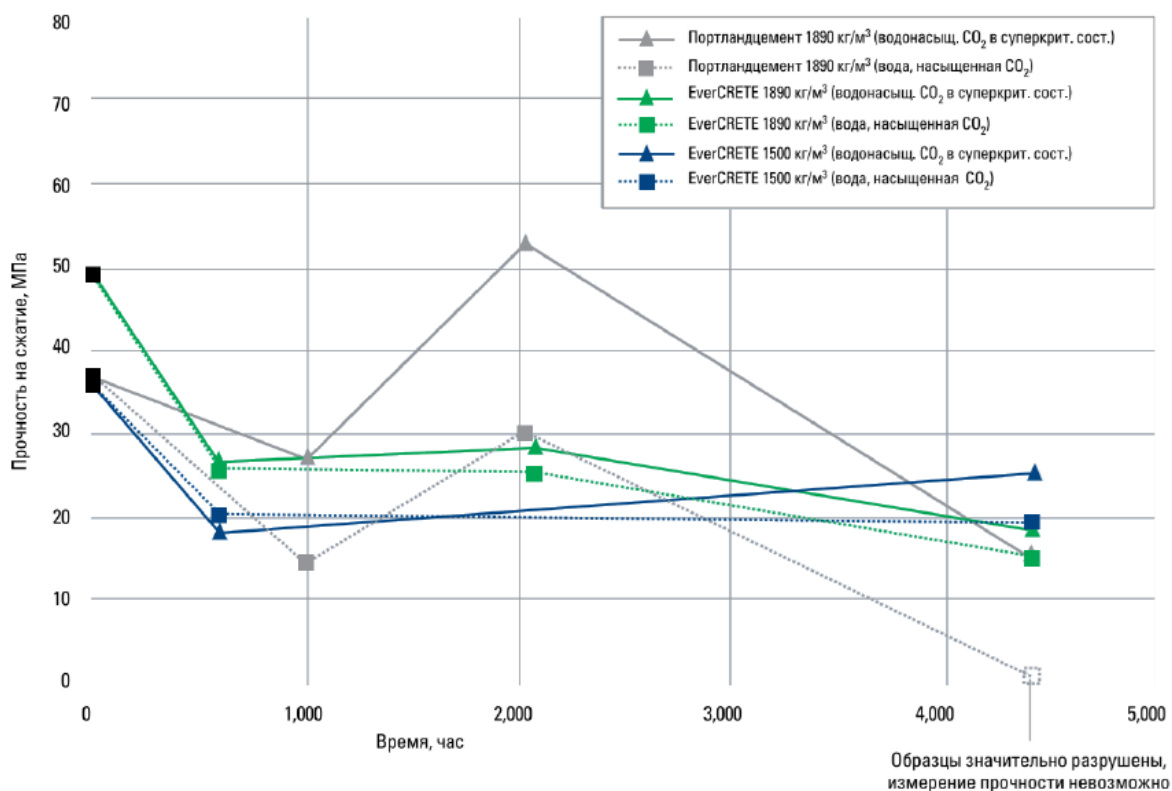


Рисунок 1. Развитие прочности на сжатие во времени проб портландцемента и цемента EverCRETE в среде критической концентрации двуокиси углерода в воде и в воде, насыщенной углекислым газом при 90 °С и 28 Мпа [2]

Для дальнейшего изучения проблемы планируется проведение эксперимента в камере ячейке старения. В ячейку помещается образец тампонажного камня, который

выдерживается в углекислом газе при давлении до 10 МПа и температуре $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 7 суток [3]. Затем проводятся испытания на прочность и на изгиб [4].

Таким образом, работа посвящена оценке влияния углекислотной агрессии на прочностные свойства цементного камня. Установление зависимости прочности цементов при различных параметрах среды позволит разработать новые рецептуры тампонажных растворов, применяемых для крепления скважин с большим содержанием углекислого газа.

Список литературы:

1. Крепление высокотемпературных скважин в коррозионно-активных средах/ Кравцов В.М., Кузнецов Ю.С., Мавлютов М.Р., Агзамов Ф.А., – М.: Недра, 1987. 190 с.
2. CO₂ устойчивый цемент EverCRETE: сайт. – URL: https://www.slb.ru/services/cementing/co2_resistant_cement_evercrete/ (дата обращения: 10.04.2022). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
3. Adjei S., Elkatatny S., Aggrey W.N., Abdelraouf Y. (2022). Geopolymer as the future oil-well cement: A review. Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 208, 109485, DOI: 10.1016/j.petrol.2021.109485.
4. ГОСТ 34532-2019. Цементы тампонажные. Методы испытаний. – Введ. 2022-01-01. – М. : Стандарт информ, 2019. – 24 с.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Г.В. Буслаев

МИРОНОВ Д.А.

Альметьевский государственный нефтяной институт

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТИПА УГЛЕВОДОРОДНОЙ ОСНОВЫ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ НА ПАРАМЕТРЫ РУО ПРИ НИЗКОЙ ЗАБОЙНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

MIRONOV D.A.

Almetyevsk State Oil Institute

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE TYPE OF HYDROCARBON BASE OF DRILLING FLUIDS ON OBM PARAMETERS AT LOW BLOCKHOLE TEMPERATURE

Актуальность исследования обусловлена всё возрастающими требованиями к параметрам буровых растворов и увеличением объёма применения буровых растворов на углеводородной основе (РУО).

Цель исследования состоит в определении влияния типа углеводородной основы буровых растворов на параметры РУО при низкой забойной температуре.

Методы исследования заключаются в проведении лабораторных экспериментов с различными составами РУО.

Раствор на углеводородной основе представляет собой обратную эмульсию типа «вода в масле», которая стабилизирована поверхностно-активными веществами. На рисунке 1 показана схема эмульгирования капель воды в масле.

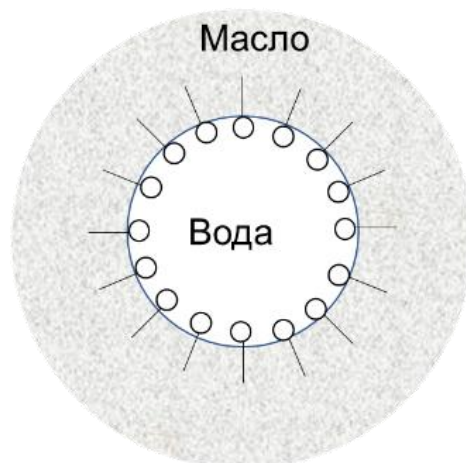


Рисунок 1. Схема эмульгирования капель воды в масле

Для приготовления буровых растворов на углеводородной основе в качестве базовой жидкости традиционно используется дизельное топливо в первую очередь из-за его вязкостных характеристик, низкой воспламеняемости и низкой растворяющей способности по отношению к резинотехническим изделиям. Однако, дизельное топливо содержит относительно большое количество ароматических соединений и, по крайней мере, значительную концентрацию *n*-олефинов, которые могут быть вредными или токсичными для животных и растений.

В связи с ужесточением законодательства по охране окружающей среды более предпочтительным является использование синтетических масел. По результатам различных исследований, синтетические масла теперь считаются более экологически безопасными, чем буровой раствор на основе дизельного топлива. Крайне важно пропагандировать использование экологически чистых и биоразлагаемых источников основы для разработки РУО. В связи с этим в данной работе были проведены лабораторные исследования различных основ для приготовления РУО.

На первом этапе работы были исследованы сами основы РУО. При этом наиболее важными критериями являлись температура вспышки в закрытом тигле и реологические характеристики. В таблице 1 сведены результаты исследования различных основ РУО.

Таблица 1. Замеренные параметры основ для приготовления РУО

№	Параметры	Фактические показатели					
		ДТ 1	ДТ 2	Масло 1	Масло 2	Масло 3	Отработанное масло
1	Тип основы						
2	Температура вспышки в закрытом тигле, °С	51	59	86	80	80	213
3	Плотность, г/см ³	810	920	795	797	800	870
4	Пластическая вязкость при 30 °С, мПа·с	1,3	3,1	1,6	2,1	2,7	55,1
5	ДНС при 30 °С, дПа	3	2,87	1,44	1,44	2,98	99,6

№	Параметры	Фактические показатели					
6	Эффективная вязкость при 300 об/мин при 30 °С, сПз	1,51	1,85	1,7	2,2	2,7	37,95
7	Кинематическая вязкость при 300 об/мин при 30 °С, мм ² /с	1,86	2,01	2,14	2,76	3,38	43,62

На следующем этапе работы были приготовлены и исследованы РУО на различных основах, которые отличались только видом основы. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2. Замеренные параметры буровых растворов

№	Параметры растворов	РУО на дизельном топливе		РУО на масле	
1	Тип раствора				
2	Температура замера, °С	30	49	30	49
3	Плотность, кг/м ³	1300	–	1300	–
4	Электростабильность	887	–	948	–
5	Фильтрация НРНТ, см ³ /30 мин	0	–	0	–
6	Пластическая вязкость, мПа·с	32,8	27	22,7	19,5
7	ДНС, дПа	71	52	52	24
8	СНС _{10/10} , дПа	20/50	15/18	17/20	11/16
9	6 RPM	3,5	3	3,2	2
10	3 RPM	2,8	2,6	2,4	1,7

На заключительном этапе работы приготовленные растворы на углеводородной основе были исследованы на тестере набухания глинистых сланцев. Для исследования использовали брикеты, приготовленные из порошка сарайлинских аргиллитов. На рисунке 2 представлено сравнение набухания сарайлинских аргиллитов в среде РУО и в ингибированном буровом растворе на водной основе (БПСИР).

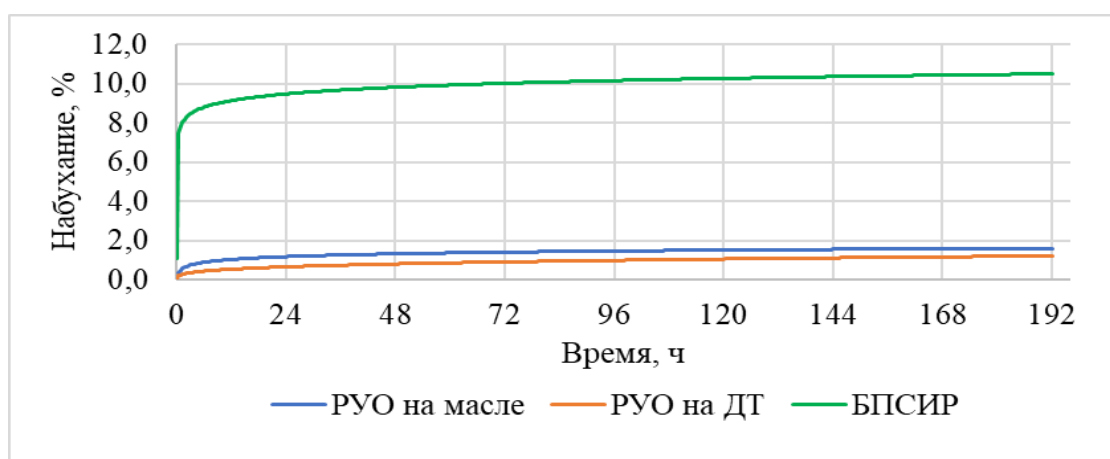


Рисунок 2. Набухание сарайлинских аргиллитов в среде буровых растворов РУО (на основе масла или ДТ) и БПСИР

Полученные результаты показывают, что РУО на масле создает более стабильную эмульсию (таблица 2, параметр «электростабильность»), в то время как РУО на дизельном топливе характеризуется лучшими реологическими характеристиками и ингибирующими свойствами. Таким образом, оба раствора на углеводородной основе показывают удовлетворительные свойства и могут быть использованы на практике, причем РУО на дизельном топливе более выгоден с экономической точки зрения, а РУО на масле – с экологической. Данные результаты будут использованы в процессах разработки и применения рецептур буровых растворов на углеводородной основе при строительстве скважин.

Вклад каждого автора:

1. Хузин Р.Р., д.т.н., доцент АГНИ - экспертно-аналитическое проведение исследований;

2. Каримов М.Ф., заведующий лабораторией буровых растворов института «ТатНИПИнефть» - организация и общий контроль проведения исследований;

3. Миронов Д.А., аспирант АГНИ, научный сотрудник лаборатории буровых растворов института «ТатНИПИнефть» - разработка методики проведения исследований, проведение исследований и анализ результатов.

4. Замалиева Р.Р., к.х.н., научный сотрудник лаборатории буровых растворов института «ТатНИПИнефть» - разработка методики проведения исследований, проведение исследований и анализ результатов.

Список литературы:

1. Гришкорец В.Ю., Давыдов Ю.С., Редкин Т.А., Николаева Л.В., Карпиков А.В. Преимущества применения буровых растворов на углеводородной основе при бурении нефтяных и газовых скважин // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. – 2013. – № 2. – С. 95–102.
2. ГОСТ 33697-2015 (ИСО 10414:2011). Растворы буровые на углеводородной основе. Контроль параметров в промысловых условиях. – М.: Стандартинформ, 2016.
3. Конесев В.Г., Хомутов А.Ю. Результаты применения растворов на углеводородной основе при вскрытии продуктивных пластов на месторождениях ОАО «Газпромнефть – Ноябрьскнефтегаз» // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 5. – С. 44–45.
4. Мухин, Л.К. Буровые растворы на углеводородной основе для бурения в осложненных условиях и вскрытия продуктивных пластов: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, 1971. – 300 с.

Научный руководитель: д.т.н., доцент Р.Р. Хузин

НАЗАРОВ И.

Белорусский национальный технический университет

РЕМОНТОПРИГОДНАЯ СКВАЖИНА С ДВУХСЕКЦИОННЫМ ФИЛЬТРОМ

NAZAROV I.

Belarussian National Technical University

REPAIRABLE WELL WITH TWO-SECTION FILTER

The design of the well with a two-section filters was proposed in BNTU, Eurasian patent №028029 was obtained [1]. The difference of the proposed well in comparison with the typical ones is that the filter column is made of two filter sections telescopically connected to each other.

The advantage of this design are sections that have such a length and diameter that they can be removed from the well in turn more easily, starting from the lower section. The probability of extraction of the entire filter column here increases significantly due to a decrease in the friction forces of the sections during extraction. Indeed, if the filter column is divided into sections in half, then the friction force during the extraction of the upper section will decrease by half, and the lower section having a smaller diameter will decrease by more than two times compared to the friction force that occurs when the entire filter column is extracted. Reduction of extraction efforts can be achieved by equipping the well with expanded clay filling. This expands the scope of application of wells of a similar design and increases their durability by increasing maintainability during major repairs.

From the design protected by the patent [1], the improved design (see Fig. 1) it is distinguished by the junction of the sections, which consists of hooks 11, which are welded to the upper part of the filter tube 15 of the lower section 9 and facing downwards with their sharp ends, cable (wire) loops 10, which are rigidly attached outside the lower part of the upper section 8, an gland 12 made of mounting foam.

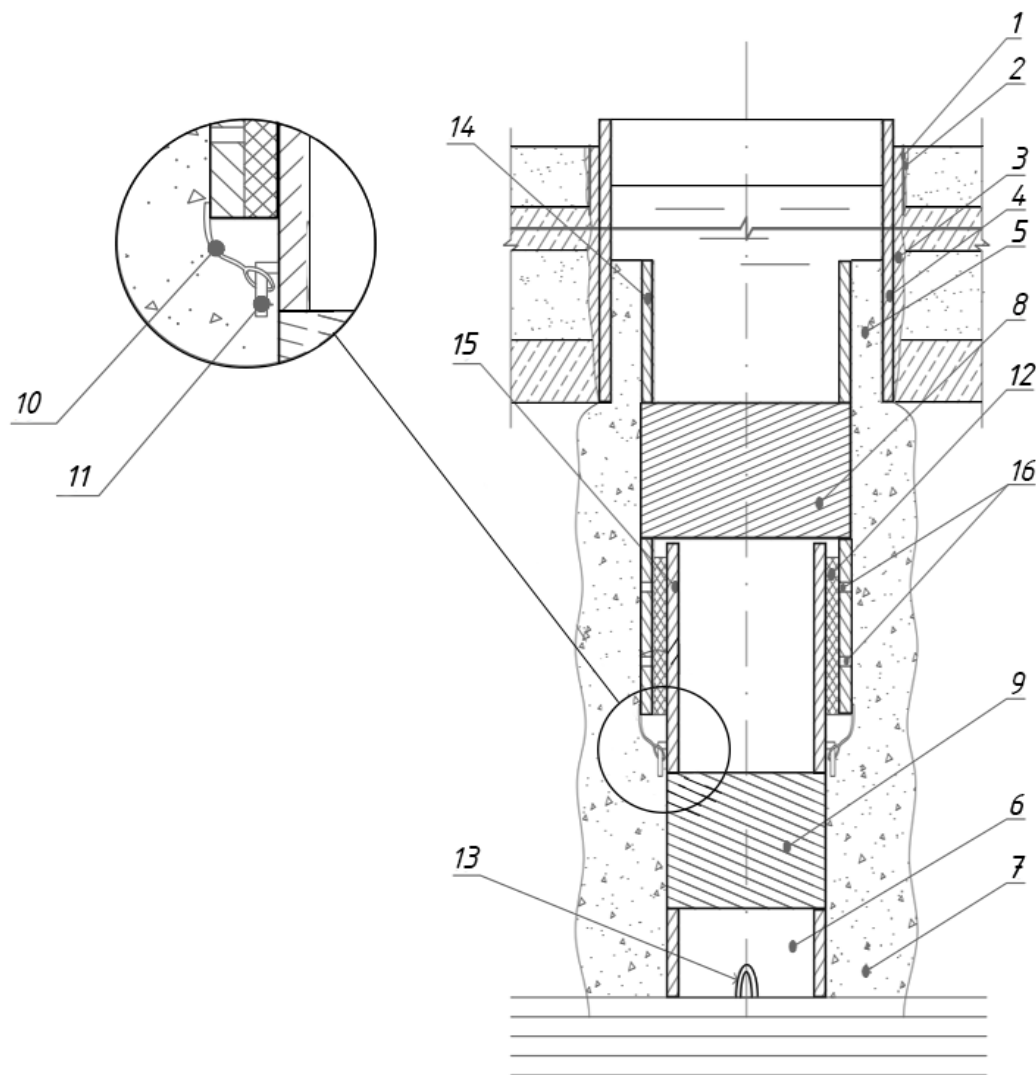


Figure 1. Scheme of a well with a sequential connection of filters

1 – conductor; 2 – annular cementation of conductor; 3 – annular cementation of operational column; 4 – operational column; 5 – gland of gravel; 6 – settling tank; 7 – gravel filling; 8 – upper filter section; 9 – lower filter section; 10 – cable loop; 11 – hooks; 12 – gland; 13 – gripping bracket; 14 – upper filter pipe of the upper filter; 15 – upper pipe of the lower section; 16 – holes for injection of mounting foam

To conduct comparative full - scale hydraulic studies of a well with a two-section telescopic filter and a typical well at a distance of 1 m from each other, two wells of these structures were drilled in c. Primorye of the Minsk region on the interplastic waters of the Sozh moraine complex (gllsz).

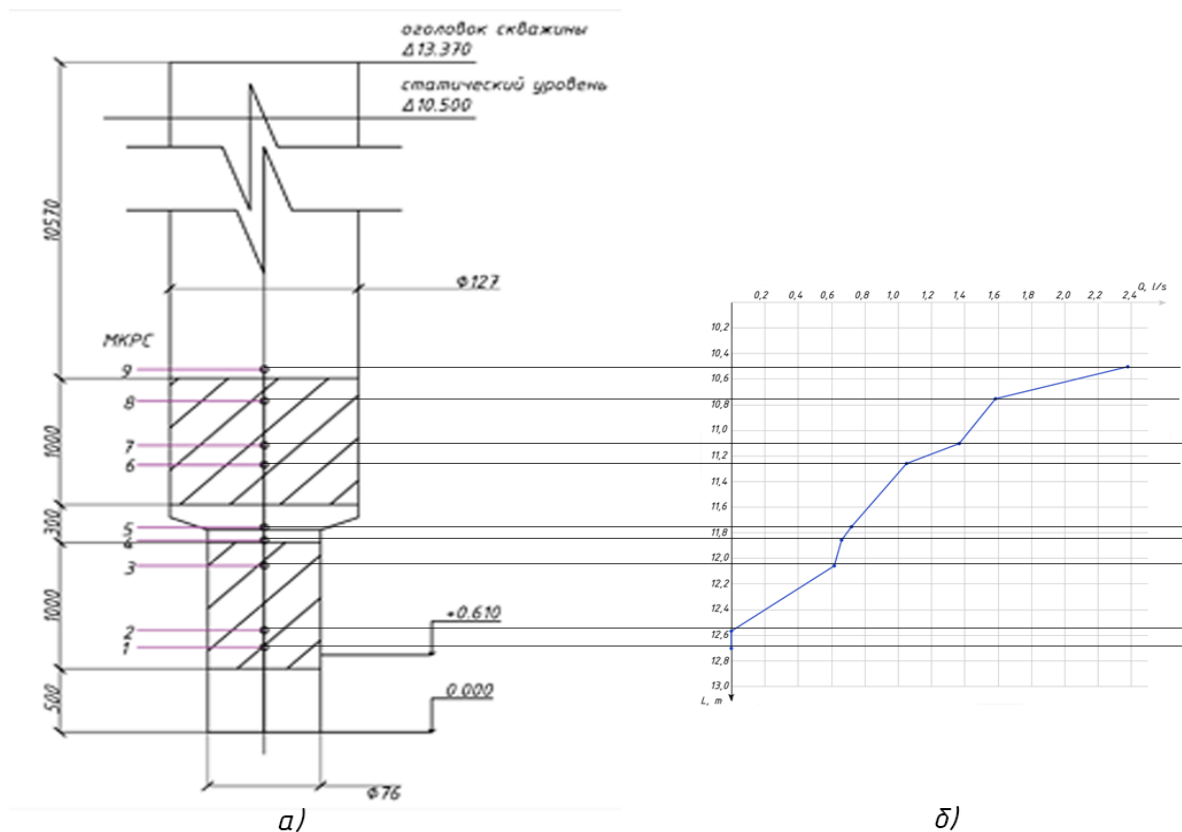


Figure 2. The results of flowmetry survey of the two-section filter of the pilot well are shown

a) layout of speed measurement points with the help of Microcomputer Speed Flow Meter; b) the total flow chart for the well with a serial connection of filters;

Conclusion

1. An improved design of the well with a two-section filter installed at the bottom, which has increased maintainability, is proposed.

2. Flowmetry survey of a two-section filter of a well with a depth of 14 m was carried out. The inflow through the lower section was 28% of the total inflow through the entire filter.

List of references:

1. Water intake well design: Eurasian patent №028091MPKS1 E21B 43/00, E03B 3/00/ Ivashchkin V. V., Magaryan M. P. applicant BNTU. - №.a201501112; application 27.10.2015// Eurasian Patent Office "Inventions (Eurasian Patents and Applications) №. 10. – 2017.

Supervisor of studies: д.т.н., профессор В.В. Ивашечкин

НАСИРЗАДЕ ХЕРИС МАДЖИД, ТАБАТАБАИ МОРИДА СЕЙЕД ШАХАБ
Технологический университет Саханда

**ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРОГНОЗА ПОРОВОГО ДАВЛЕНИЯ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАМЕТРОВ БУРЕНИЯ**

NASIRZADEH HERIS MAJID, TABATABAEI MORADI SEYYED SHAHAB
Sahand University of Technology

**UNCERTAINTY ASSESSMENT OF PORE PRESSURE PREDICTION USING
DRILLING PARAMETERS**

Pore pressure is defined as the pressure of the formation fluids within the porous medium of the formation. Accurate prediction of pore pressure is one of the main steps of well planning. Pore pressure data is required for accurate design of mud weight window, casing seat depth determination, rig size, cement design etc.

There are different time-related pore pressure prediction techniques such as pre-drill pore pressure prediction methods like seismic methods and real time pore pressure prediction through logging methods and drilling mechanical parameters. By using seismic data, pre-drill pore pressure could be predicted. However, data is strongly affected by change in formation pore fluid especially in shale gas formation.

Real-time pore pressure data could be gathered a few meters above the bit through LWD & MWD methods which give more accurate results comparing to seismic methods. Well log data can be affected by borehole conditions such as lost circulation and washouts and real-time pressure is predicted few feet behind the bit by this method. [1, 2].

The best prediction of pore pressure during drilling in compare of the above methods is achieved ahead of the bit in each feet drill of the fresh formation. This goal will be achieved by using drilling mechanical parameters such as WOB, ROP, N and bit hydraulic parameters. Pore pressure prediction by using drilling parameters is the most cost and time saving method because of availability of all mechanical parameters along the wellbore path without any need of mechanical wellhead instrument and could provide ahead of the bit pore pressure which enable the engineers to control the well incidents (kick/blow-out) and maximize drilling rate through optimizing mechanical parameters and maintain mud specialties.

Drilling parameter based pore pressure prediction relies on two main methods: 1) Drill-ability exponent and 2) Mechanical specific energy (MSE). ROP is one of the main indications of abnormal pressure zone during drilling. Therefore ROP models could be used for pore pressure prediction. Because of excessive involved parameters in ROP models, which hardened the pressure calculations, Drill-ability exponent was introduced to decrease the number of mechanical parameters [3-5].

Mechanical specific energy is defined as the amount of energy required to break a unit volume of rock. MSE term usually contains two fundamental axial energy and rotary energy components. MSE establish more logical and faultless connection among drilling parameters than d-exponent and also include torque term inside the entire model [6].

Newly developed hydro-mechanical specific energy (HMSE) consider the bit hydraulic energy as an undeniable component energy in rock breaking mechanism especially in soft formation and also define newly down-hole mechanical parameters due to the difference between the real down-hole drilling parameters with the surface measured one

because the prior MSE and d-exponent models were only applicable for pore pressure prediction in hard formations and the drilling parameters in these models was in form of surface measurements. [7, 8].

Pore pressure prediction by using drilling parameters are based on the comparison of the mechanical related parameter in normal drilling condition with its observed amount during real formation drilling condition and finally pore pressure could be predicted by using Eaton method [9].

However, there are different level of errors and uncertainty in the input drilling mechanical data, which leads to some level of uncertainty in the predicted pore pressure. Main sources of errors in the input data are the result of surface measurement or human mistake source. Uncertainty, which sometimes is mistaken by error, is defined as the range of values within which the true value is estimated to lie. It is a best estimate of possible inaccuracy due to both random and systematic error [10-12].

In this study a monte Carlo technique is applied to estimate the level of uncertainty in the predicted pore pressure (Figure 1).

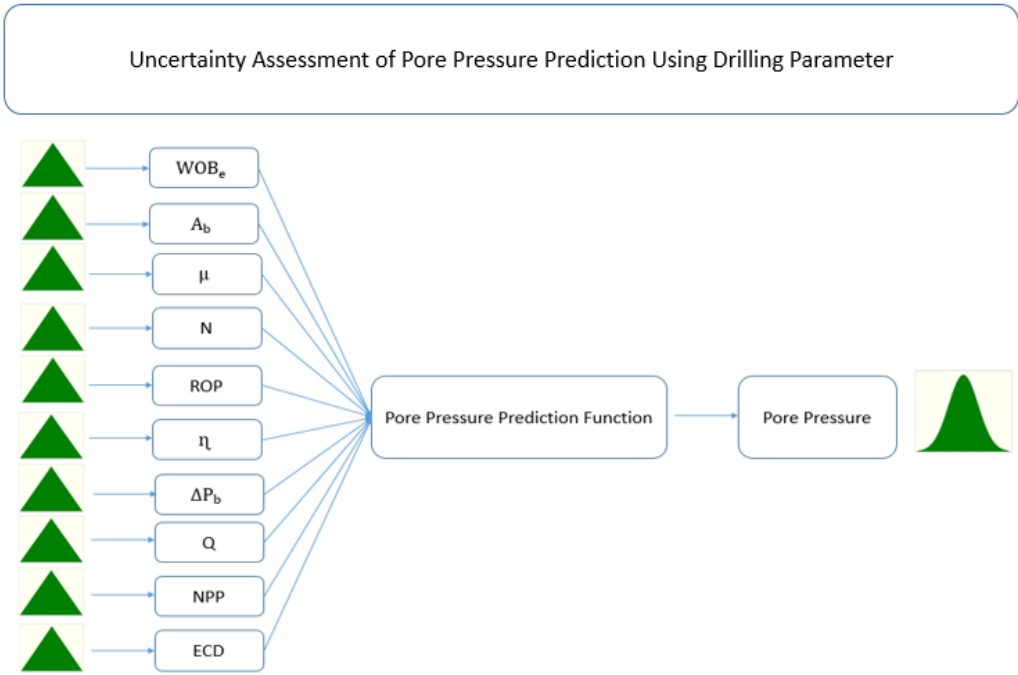


Figure 2. distribution of input drilling parameters for define pore pressure prediction function

For uncertainty assessment in this investigation, different models were used for pore pressure prediction. Then the calculated pore pressure compared with the real available pressure data for different depths to calculate numerical pore pressure error of each model. Finally concluded HMSE model had the lowest numerical error among other models for pore pressure prediction.

To deal with uncertainties, Monte-Carlo method is used for assess uncertainty of HMSE based pore pressure prediction to decrease the uncertainty margin of measured pressure amount. For uncertainty assessment through Monte-Carlo method there will be need to define assumptions and forecast of the required data. All input mechanical parameters for calculating HMSE of each depth as shown in Figure 1, must be defined as assumptions. All

input assumptions for uncertainty analysis must be defined as a special distribution for defining pore pressure prediction function in Monte-Carlo method. By defining HMSE-based pore pressure data as forecast for each depth, certainty brands of predicted amount of pore pressure for each depth will be achieved. Finally by using uncertainty analysis of pore pressure, uncertainty margin of predicted data would be decreased and the most decisive amount of predicted pressure will be achieved with lowest numerical error for each depth.

List of references:

1. Zhang, J. (2011). Pore pressure prediction from well logs: Methods, modifications, and new approaches. *Earth-Science Reviews*, 108(1–2), 50–63 <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.06.001>
2. Contreras, O. M., Tutuncu, A. N., Aguilera, R., & Hareland, G. (2011). A case study for pore pressure prediction in an abnormally sub-pressured Western Canada Sedimentary Basin. 45th US Rock Mechanics /Geomechanics Symposium.
3. Bingham, M. G.: "A New Approach to Interpreting Rock Drillability", *Oil and Gas J* (1965)
4. Jordan, J. R., & Shirley, O. J. (1999). Application of drilling performance data to overpressure detection. *SPE Reprint Series*, 49, 19–26. <https://doi.org/10.2118/1407-pa>
5. Rehm, B., & McClendon, R. (1971). Measurement of formation pressure from drilling data. Society of Petroleum Engineers - Fall Meeting of the Society of Petroleum Engineers of AIME, FM 1971. <https://doi.org/10.2523/3601-ms>
6. Teale, R., 1965. The concept of specific energy in rock drilling. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 2, 57–73. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(65\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0148-9062(65)90022-7).
7. Mohan, K., Adil, F., & Samuel, R. (2015). Comprehensive hydromechanical specific energy calculation for drilling efficiency. *Journal of Energy Resources Technology, Transactions of the ASME*, 137(1). <https://doi.org/10.1115/1.4028272>
8. Oloruntobi, O., & Butt, S. (2019). Energy-based formation pressure prediction. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 173(August 2018), 955–964. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.10.060>
9. Eaton, B. E., 1975, the equation for geopressure prediction from well logs: SPE AIME paper #SPE 5544.
10. ISO. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. International Organization for Standardization (ISO) and the International Committee on Weights and Measures (CIPM): Switzerland, 1993.
11. Kadis, R. (2015). Evaluation of measurement uncertainty in analytical chemistry : related concepts and some points of misinterpretation. September (2008)
12. Tabatabaee Moradi, S. S., & Nikolaev, N. I. (2020). Uncertainty assessment of wellbore stability analysis in horizontal sections. *SN Applied Sciences*, 2(3), 1–6. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2237-y>

Supervisor of studies: PhD petroleum engineering, assistant professor Tabatabaee Moradi Seyyed Shahab

ОВСЕПЯН Э.Э.
Санкт-Петербургский горный университет

**РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ К СОСТАВАМ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ С
УЧЁТОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИХ ТЕЧЕНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ**

OVSEPIAN E.E.
Saint-Petersburg mining university

**DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR THE COMPOSITIONS OF
DRILLING FLUIDS WITH MODELING THEIR FLOWS UNDER VARIOUS
CONDITIONS**

Актуальность

Для успешного проведения процесса бурения, важной задачей является подбор оптимальных параметров бурового раствора в целях обеспечения эффективного охлаждения породоразрушающего инструмента, создания давления на забой для предупреждения ГНВП, выноса шлама на поверхность, а также для многих других функций.

В условиях АВПД, регламентируемая плотность промывочной жидкости рассчитывается, исходя из условия создания ее столбом гидростатического давления. Необходимо создать такое давление на стенки скважины, при котором исключается возможность флюидопроявления. С этой целью и происходит регулирование химических реагентов и специальных добавок в буровой раствор, ведь правильно рассчитанные реологические параметры позволят провести бурение наиболее эффективно.

Для корректного подбора оптимальных реологических параметров бурового раствора, необходимо смоделировать течение жидкости непосредственно в скважине с помощью программного обеспечения и методов математического моделирования.

Целью диссертации является разработка рекомендаций к составам буровых растворов с учетом моделирования их течения при различных условиях.

Задачи исследования:

- 1) Обзор современного состояния буровых растворов для бурения скважин.
- 2) Анализ теории и практики моделирования течения буровых растворов.
- 3) Определение методики и методологии проведения исследований.
- 4) Моделирование течения буровых растворов в различных условиях.

Методы

С целью разработки рекомендаций по составам буровых растворов, проводятся комплексные исследования, которые занимают большое количество времени, т.к. для получения технических характеристик бурового раствора, необходимо большое количество входных параметров. Следует учитывать, что степень влияния фактора зависит от остальных других. Однако для полного исследования влияния одного фактора на другие, как правило проводят большое количество экспериментов.

Рекомендовано каждый фактор исследовать на четыре-пять значений. Уменьшение их количество влечет за собой и уменьшение точности эмпирической зависимости. К примеру, в случае если исследуются четыре фактора и каждый из которых принимает по пять разных значений, необходимо будет провести $5^4 = 625$

эксперимента, что безусловно крайне сложно выполнить на практике. По этой причине и существует методика рационального планирования эксперимента, которая позволяет сократить число опытов.

Протодняконов М. М. предложил при изучении зависимости результата от четырех факторов использовать латинский квадрат и так спланировать эксперимент, чтобы ни в одной строке и ни в одном столбце не было повторных сочетаний. Графическое изображение такого квадрата представлена на рисунке 1.

		X ₁					2					3					4					5					
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	X ₂ X ₃ X ₄																										
	1																										
	2																										
	3																										
	4																										
2	X ₂ X ₃ X ₄																										
	1																										
	2																										
	3																										
	4																										
3	X ₂ X ₃ X ₄																										
	1																										
	2																										
	3																										
	4																										
4	X ₂ X ₃ X ₄																										
	1																										
	2																										
	3																										
	4																										
5	X ₂ X ₃ X ₄																										
	1																										
	2																										
	3																										
	4																										

Рисунок 1. Большой комбинационный квадрат

Такой квадрат составлен для четырех факторов (X₁, X₂, X₃, X₄), каждый из которых может принимать по пять различных значений. Он состоит из 25 средних квадратов, каждый из которых состоит из 25 малых квадратов, в сумме 625 клеток.

Метод рационального планирования при установлении влияния данного фактора на изучаемую величину обеспечивает гарантированное усреднение влияния всех остальных факторов. Графически это соответствует тому, что в каждом столбце и в каждой строке большого квадрата встречается по одной заштрихованной клетке, соответствующей принятой для опыта комбинации уровней влияющих факторов.

После проведения лабораторных исследований устанавливается математическая связь между факторами и результатами. Влияние факторов на исследуемый параметр определяется с помощью корреляционно-регрессионного анализа.

В целях обработки лабораторных исследований и применения методики рационального планирования, используется язык программирования «Python». Он представляет собой высокоуровневый язык с динамической строкой типизацией и автоматическим управлением памятью.

В интерфейс программы вводятся такие исходные данные как сам комбинационный квадрат, в значениях которого указана пластическая вязкость бурового раствора. В переменные x₁, x₂, x₃ и x₄ присваиваются названия соответствующего фактора, а также специальный словарь, который включает в себя 5

варьируемых значений для каждого фактора, соответственно для температуры – градусы Цельсия, а для компонентов – кг/м³.

Результаты

Результатом вывода программы являются полная факторная таблица с фактическими/расчетными данными, график, визуально показывающий расхождение (Рисунок 2), коэффициент меры идентичности, а также уравнение регрессии.

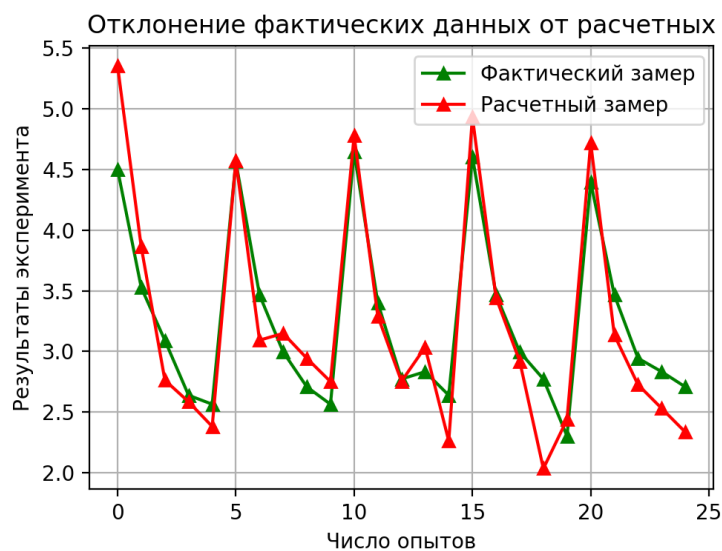


Рисунок 2. График расхождений

Полученное уравнение выглядит следующим образом:

$$7.68 + (-1.031 \ln(\text{Temp})) + (-0.738 \ln(\text{Ezmul})) + (0.594 \ln(\text{Geltone})) + (0.502 \ln(\text{Varablock}))$$

После определения уравнения регрессии, можно оптимизировать буровой раствор, исследовать изменения его параметров, варьируя те или иные факторы. После определения требуемых свойств раствора для конкретного месторождения, можно использовать стороннюю программу, которая позволит увидеть поведение раствора в скважине.

Заключение

В целях комплексного исследования поведения бурового раствора при варьировании различных определяющих факторов, а их зачастую несколько и на каждый фактор приходится несколько значений, приходится делать большое количество экспериментов, которые на практике достаточно трудно воспроизвести.

Чтобы решить данную проблему применяется методика рационального планирования экспериментов, а именно использование большого комбинационного квадрата. В ходе обработки результатов эксперимента при помощи квадрата, на выходе определяется уравнение регрессии, с помощью которого и можно оценить влияние фактора на исследуемые параметры раствора.

Чтобы использовать квадрат, необходимо написать алгоритм, который будет его определять. В работе используется высокоуровневый язык программирования Python.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Е.Л. Леушева

ПАРФЕНОВ К.В.

Самарский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ АРГИЛЛИТОВ МЕТОДОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРЕХОСНОГО СЖАТИЯ

PARFENOV K.V.

Samara State Technical University

INVESTIGATION OF MUDSTONE SAMPLES BY THE METHOD OF TRIAXIAL COMPRESSION MODELING

В работе представлен уникальный метод исследования образцов аргиллитов при помощи установки на независимое трехосное сжатие, разработанной на кафедре «Бурение нефтяных и газовых скважин» СамГТУ.

Актуальность исследования заключается в том, что принцип работы установки является подлинным. Нагрузка создается гидроприводом, прикладывается стальными плитами. Три опорные плиты зафиксированы, перпендикулярно друг другу, три оставшиеся закреплены на штоках гидравлического пресса и независимо перемещаются, ортогонально друг другу, прикладывая нагрузку на образец керна квадратной формы. Рабочая камера, как и образец керна, имеет форму куба, с ребром. Особенностью конструкции узла нагружения является то, что рабочая поверхность нажимной плиты (поверхность, контактирующая с образцом) имеет размер несколько больший, чем размер грани образца, и в рабочем положении нажимные плиты установлены с заходом относительно друг друга. Таким образом, активная нажимная плита, перемещаясь в осевом направлении и деформируя образец, сдвигает две соседние нажимные плиты (одну активную и одну опорную) в том же направлении. Проблема деформации прижимающих и опорных штоков из-за боковых нагрузок, решается путем установки подшипников между пластиной и штоком, что позволяет снять большую часть нагрузки перпендикулярной оси нагружения. Такая конструкция по сравнению с другими испытательными средствами на сложное нагружение с использованием жестких нажимных плит обеспечивает равномерное приложение нагрузок по всей площади образца в течение всего процесса деформирования, включая стадию разрушения, что существенно упрощает анализ результатов экспериментов, так как отпадает необходимость учета концентрации напряжений в области ребра образца [1].

Целью исследования является изучение свойств керна на данной установке, для предотвращения аварийных ситуаций на буровой (осыпей и обвалов стенок скважин в интервалах неустойчивых пород), в особенности аргиллитов, так как они мало изучены. Методом исследования является физическое моделирование горного напряжения на установке на 3х-осное сжатие.

Деформация и разрушение горной породы происходит под действием напряженно-деформированного состояния, т.е. трех независимых напряжений:

минимальное тектоническое напряжения (σ_3), среднее тектоническое напряжение (σ_2), и максимальное - горное напряжение (σ_1). Испытания керн на истинное трехосное сжатие важны, так как они удовлетворяют основному принципу залегания горных массивов, а именно: создаваемое в образце, состояние всестороннего сжатия, моделирует «реальные условия» залегания (в частности аргиллиты).

Процесс появления микротрещиноватости пород, сложенных аргиллитами, заключается в следующем: под действием температур свыше $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ в глинистых отложениях происходит освобождение связанной воды за счет диссоциации молекул, увеличивается живое сечение пор. Вследствие чего, глинистые частицы агрегируют и образуют пластинчатые сростки, разрушая концентрацию напряжений. [4]

На данном этапе научной-исследовательской работы установка дооборудована программным обеспечением. Проведены опыты по первой программе нагружения ($\Delta\sigma_1=\Delta\sigma_2=\Delta\sigma_3$), то есть сначала образец керн равномерно сжимался по всем трем осям в одном положении, а затем в повернутом на 90° положении. Были получены графики зависимости давления от перемещения. В дальнейшем планируется проведение экспериментов по насыщению керн.

Испытания на данной установке позволяют получить информацию об упругих свойствах горной породы в плстовых условиях. Иначе говоря, зная напряженные состояния, возможно предотвратить обвалообразование на этапе проектирования. В разработке данного проекта принимали участие преподаватели кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин» к.т.н., доцент Подъячев А.А., старший преподаватель Букин П.Н.

Список литературы:

1. Букин П.Н., Парфенов К.В. Установка на стенде и калибровка датчиков на независимое трёхосное сжатие. Нефть. Газ. Новации. №1, 2021.
2. Коваленко Ю.Ф. Геомеханика нефтяных и газовых скважин. дис: ... док.техн.наук: 01.02.04: защищена 01.03.12. М., - 2012.
3. Букин П.Н., Подъячев А.А., Парфенов К.В. Физическое моделирование горного напряжения. Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. №1 (337), январь 2021.
4. Хуббатов А.А., Гайдаров А.М., Норов А.Д., Гайдаров М.М. К вопросу об устойчивости глинистых пород. Территория Нефтегаз, 2014.

Научный руководитель: к.т.н., доцент О.А. Нечаева

САЛИХОВ Л.С.

Уфимский государственный авиационный технический университет

РОБОТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ СПУСКО-ПОДЪЕМНЫХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ КАПИТАЛЬНОМ И ТЕКУЩЕМ РЕМОНТЕ СКВАЖИН

SALIKHOV L.S.

Ufa State Aviation Technical University

AUTOMATIZATION ROBOTIC SYSTEM FOR LIFTING AND LOWERING OPERATIONS DURING OVERHAUL AND ROUTINE MAINTENANCE OF WELLS

В работе предлагается обоснование разработки и введения в эксплуатацию роботизированного комплекса для автоматизации спуско-подъемных операций (СПО) при ремонте скважин.

Актуальность исследования данной работы является высокий уровень простоя скважин по причине отсутствия своевременного ремонта скважин, что сказывается на добыче нефти и, соответственно, экономике нашего государства.

Целью работы является сокращение времени простоя нефтяных месторождений, повышение производительности и безопасности труда персонала, при проведении текущего и капитально ремонта скважинного оборудования, на основе внедрения инновационных технологий применения робототехнических комплексов, полностью автоматизирующих спуско-подъемные операции насосно-компрессорных труб (НКТ).

Развитие нефтегазовой отрасли является одним из приоритетных направлений российской экономики. Свыше трети дохода страны приходится на нефтегазовую промышленность. В связи с высокой значимостью добычи углеводородного сырья по всей территории России востребованы диагностика, ремонт и обслуживание нефтяных месторождений. Длительный срок эксплуатации скважинного оборудования требует своевременного проведения профилактических мероприятий и текущего ремонта, от качества которого во многом зависит продолжительность эксплуатации скважин на запланированном технологическом режиме. Причинами простоя скважин являются весьма дорогостоящие и продолжительные работы по ремонту оборудования и обусловлены продолжительным монотонным, тяжёлым и травмоопасным трудом по укладке труб; их подаче и последующему свинчиванию – развинчиванию насосно-компрессорных труб.

Текущий ремонт скважин - комплекс работ по проверке, частичной или полной замене подземного оборудования, очистке его, стенок скважины и забоя от различных отложений, а также по осуществлению в скважинах геологотехнических мероприятий по восстановлению и повышению их добывающих возможностей. Капитальный ремонт скважин — это комплекс работ по восстановлению работоспособности призабойной зоны, промывка ее растворителями, растворами ПАВ, гидropескоструйной перфорации и химической обработки, дополнительного вскрытия пласта для приобщения к разработке газонасыщенных горизонтов.

Текущий и капитальный ремонт скважин – неотъемлемая часть процесса по добыче нефти, направленная на поддержание фонда скважин в работоспособном состоянии. СПО составляют от 40 до 60% от общего времени проведения подземного

ремонта. При этом применяется тяжелый физический труд, ввиду малой автоматизации процесса, что обуславливает снижение производительности до 38% к концу смены (Рис. 1).



Рисунок 1. График снижения эффективности СПО

Капитальный и текущий ремонт скважин во многом зависит от применяемых в нем техники и технологий, совершенствование которых значительным образом снижает затраты бригадного времени, повышает успешность ремонта и сберегает значительные материальные ресурсы. На сегодняшний день для проведения СПО используется устаревшее оборудование, требующее ручного вмешательства при спуске, подъеме, укладке труб и свинчиванию – развинчиванию.

К такому оборудованию относится агрегат УПА 60/80 (Рис.2), оснащенный подъемным сооружением соответствующей высоты; лебедочный элеватор типа ЭТА; гидравлический ключ ГКШ-1200 для механического свинчивания – развинчивания труб НКТ.

Для проведения роботизации существующего комплекса предполагается модернизация подъемного агрегата или его замена более современным аналогом, оснащенный системой управления; замена механического гидроключа на автоматический порталный гидроключ ГКШ-1800. Также предполагается отказ от существующего элеватора, требующий ручного закрепления трубы в схвате. На замену элеватора требуется разработать захватное устройство, устанавливаемое на порталную конструкцию, позволяя захватному устройству с трубой в схвате двигаться вертикально без участия человека в процессе спуска и подъема труб. Данное внедрение обусловлено крайне неустойчивым положением трубы при проведении СПО на лебедочных элеваторах. Укладка и подача труб требует введения в эксплуатацию автоматизированного модуля подачи труб. Для выполнения подобного рода операций подойдут механизированные приемные мостки Тритон-М2 разрабатываемые ОАО "Машпром".

Предлагаемая технология автоматизации технологических процессов на основе применения мобильных РТК позволяет автоматизировать спускоподъемные операции насосно-компрессорных труб, их очистку и диагностику непосредственно на месторождениях. Применение комплекса механизации спускоподъемных операций

также позволит сократить издержки на ремонт скважин. Экономический эффект складывается за счет следующих составляющих:

- сокращения времени на спускоподъемные операции;
- сокращение затрат по погрузке/разгрузке и транспортировке НКТ от месторождения до предприятия по очистке, ремонту, диагностике и обратно;
- уменьшения времени простоя скважины;
- сокращения численности бригады капитального ремонта скважин;
- увеличение срока службы насосно-компрессорных труб.

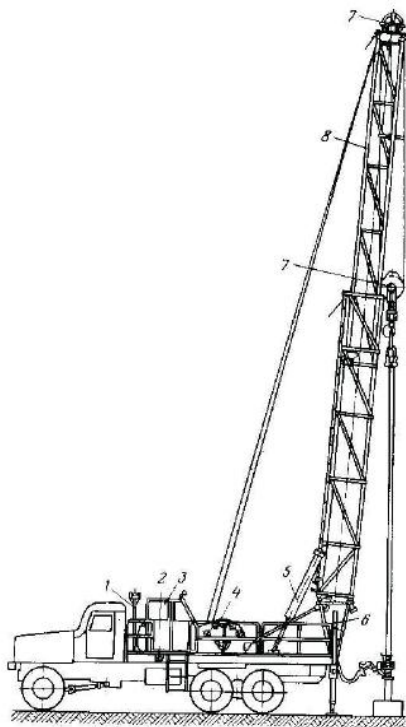


Рисунок 2. Агрегат УПА 60/80,

где 1 – передняя опора; 2 – трансмиссия с коробкой передач; 3 – кабина оператора; 4 – лебедка; 5 – гидроцилиндр подъема вышки; 6 – задняя опора; 7 – талевая система; 8 – вышка

Таким образом, резервами повышения эффективности нефтедобывающего предприятия является автоматизация ремонтных работ при обустройстве и эксплуатации скважинного оборудования.

Список литературы:

1. Кульга, К. С. Информационные технологии проектирования и эксплуатации мехатронного оборудования. Уфа : УГАТУ, 2008 .—193 с. ISBN 978-5-86911-837-0.
2. Мунасыпов Р.А., Кудояров Р.Г., Акмаев О.К., Фецак С.И., Еникеев Б.А. Система адаптивного управления станком-роботом // XII Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики: сборник трудов в 4 томах. Т.1: Общая и прикладная механика. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2019. С. 584-585.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Р.А. Мунасыпов

**АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ДЕГАЗАЦИИ
УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ МЕТАНОУГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

SERGEEV G.M.
Saint Petersburg Mining University

**ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF COAL BED DEGASSING
TECHNOLOGY IN METHANE-COAL DEPOSITS**

В работе проводится анализ мирового опыта освоения метаноугольных месторождений и обзор существующих технологий дегазации угольных пластов.

Актуальность исследования выражается в следующем:

1. Труднодоступность традиционных газовых месторождений вынуждает обращать свое внимание на нетрадиционные газовые ресурсы, объемы которых зачастую равны крупным.

2. В современной повестке дня одним из самых важных вопросов является глобальное потепление. Одной из основных причин повышения средней температуры на нашей планете является выброс парниковых газов. Метан является третьим газом по вкладу в образование парникового эффекта. На сегодняшний день самым популярным способом дегазации угольных пластов является вентиляционное проветривание угольных шахт, в результате которого метан никак не утилизируется и в свободном виде проникает в атмосферу.

3. Добыча угля в угольных бассейнах РФ и во всем мире характеризуется высокими рисками, связанными с безопасностью проведения работ. Из-за большого количества метана, содержащегося в угольных пластах, он неизбежно проникает в шахты, где становится причиной взрывов, подобных тому, который произошёл в ноябре 2021 года. Предварительная дегазация угольных пластов многократно уменьшит риск возникновения взрывов при проведении добычных работ в угольных шахтах.

Основная часть посвящена описанию современных способов и технологий дегазации угольных пластов, а также трудностей, связанных с добычей метана.

В выводах к работе указаны результаты анализа современного уровня развития технологий для дегазации угольных пластов в разных странах. Указаны преимущества и недостатки существующих технологий дегазации.

Список литературы:

1. Архипов И.А. Анализ технологии извлечения метана угольных пластов / И.А. Архипов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 6. – С. 204–211.
2. Сурин Е.В. Добыча метана угольных пластов в Кузбассе / Е.В. Сурин // Энергетическая стратегия. – 2012. – № 8. – С. 26–28.
3. Опарин В.Н., Адушкин В.В., Киряева Т.А., Потапов В.П. Региональная кластеризация угольных месторождений Кузбасса по газодинамической активности. Часть 1: геомеханические, структурно-геологические и

тектонофизические основы / В.Н. Опарин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 9. – С. 5–24.

4. Калинин А.В. Метан угольных пластов: от эксперимента до промысла / А.В. Калинин // Территория Нефтегаз. – 2013. – № 3. – С. 56–58.
5. Широков Д. Перспективы освоения метана в угольных бассейнах России / Д. Широков // Энергетические стратегии. – 2010. – № 10. – С. 34–39.
6. Ян Ин, Хайдина М.П., Ван Хэнян. Анализ особенностей эксплуатации и эффективности применения U-образной скважины для добычи метана из угольных пластов / Ян Ин // Газовая промышленность. – 2019. – № 2. – С. 44–50.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Г.В. Буслаев

УКОЛОВ А.И.

Самарский государственный технический университет

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО БОРЬБЕ С ПОГЛОЩЕНИЯМИ БУРОВОГО РАСТВОРА

UKOLOV A.I.

Samara State Technical University

MODERN TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR DEALING WITH DRILLING MUD LOSS

В работе представлен новый буровой раствор для ликвидации поглощений, разработанный на кафедре «Бурение нефтяных и газовых скважин» СамГТУ совместно с АО «НПО «ПОЛИЦЕЛЛ».

Актуальность исследования заключается в том, что одним из наиболее часто встречающихся осложнений в процессе проводки скважины является поглощения бурового раствора. В связи с этим перед нами была поставлена задача, заключающаяся в разработке оптимальной рецептуры изолирующего состава для ликвидации поглощений промывочной жидкости[1]. Своевременное предупреждение или быстрое и эффективное устранение поглощений экономит много времени и средств при строительстве скважин. Поэтому вопросы, связанные с выбором методов борьбы с потерей циркуляции бурового раствора, остаются в числе первостепенных[2].

Цели и методы исследования. Целью исследования является анализ рабочей рецептуры предоставленного раствора КЩР (комплексно-щелочной реагент), анализ взаимодействия раствора КЩР с силикатом натрия, оценка их эффективности и возможности применения в полевых условиях. Методом исследования являются лабораторные опыты.

Результаты и направления использования. Получен вязкоупругий состав, колюматурующий поглощающий интервал. Он обладает довольно плотной структурой, массообразование которой меняется при регулировании концентрации силиката натрия, а также имеет высокие адгезионные свойства. Данный вязкоупругий состав имеет плотность ниже плотности воды. Это говорит о том, что полученная масса будет концентрироваться вблизи стенок скважины, а водная составляющая уходить дальше по трещинам и кавернам. Данный эффект можно наблюдать на Рисунке 1.



Рисунок 1. Массообразование. Разделение раствора КЩР на вязкоупругий состав и водную составляющую

Исследования проводились с силикатом натрия плотностью 1200, 1300 и 1460 кг/м³.

В ходе взаимодействия КЩР с NaSiO₄ плотностью 1200 кг/м³ полученная масса оказалась наименее плотной, а время реакции самое продолжительное.

Образец с NaSiO₄ плотностью 1460 кг/м³ показал самое быстрое время реакции и самую плотную структуру. Такие показатели могут привести к преждевременной реакции и к закупориванию технических отверстий в самом долоте.

К применению рекомендуется КЩР с NaSiO₄ плотностью 1300 кг/м³.

В Таблице 1 представлены зафиксированные параметры раствора при его взаимодействии с силикатом натрия плотностью 1200 кг/м³, 1300 кг/м³, 1460 кг/м³, а также на рисунке 2 наглядно показаны различия реологических параметров раствора КЩР в зависимости от концентрации силиката натрия.

Таблица 1. Измеренные параметры раствора КЩР

Наименование параметров	Единица измерения	Фактические значения		
		NaSiO ₄ ρ=1200 кг/м ³	NaSiO ₄ ρ=1300 кг/м ³	NaSiO ₄ ρ=1460 кг/м ³
Статическое напряжение сдвига (СНС) – 10 сек /10 мин	Па	439,4/118,3	135,2/197,7	- /346,5
Динамическое напряжение сдвига (ДНС)	Па	107,5	334,5	394,2
Водоотдача	см ³ /30 мин	7	4	4
Водородный показатель	рН	12	12	12
Пластическая вязкость	сП	41,3	497,7	746,6
Толщина фильтрационной корки	мм	2	10	22
Липкость	-	0,5	0,49	-

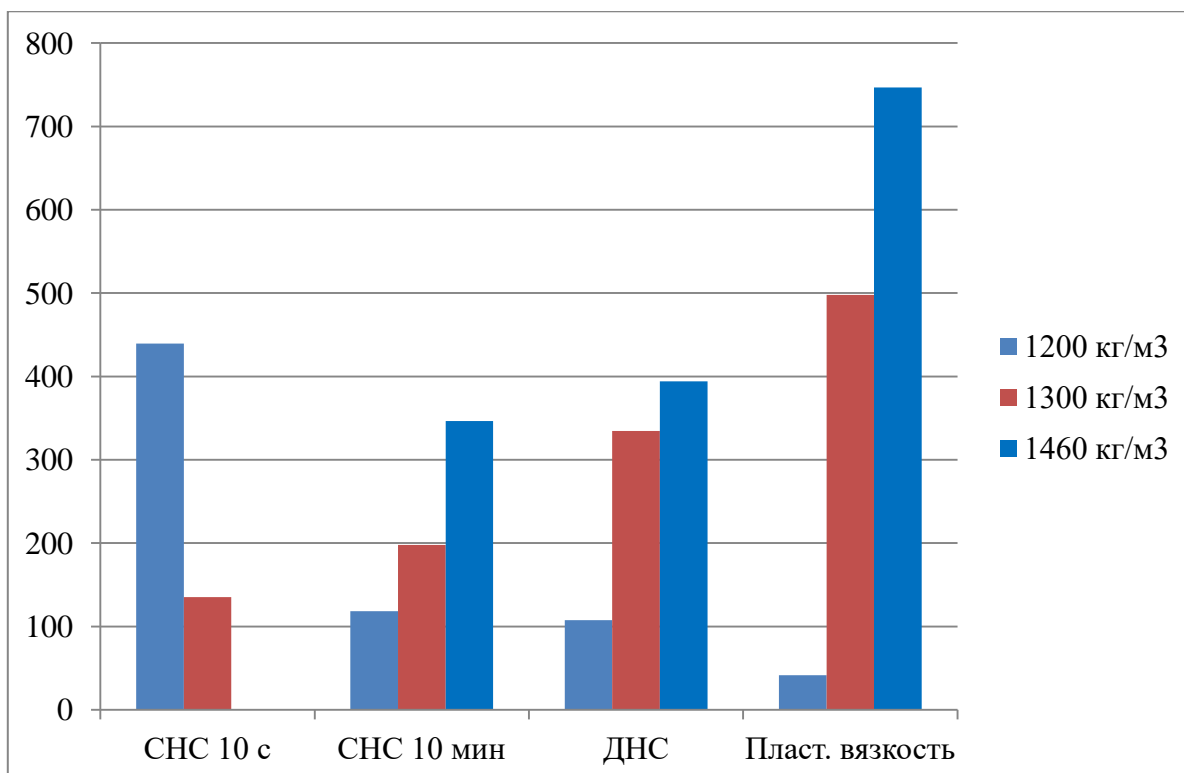


Рисунок 2. Реологические параметры раствора КЦР при взаимодействии с силикатом натрия различной плотности.

Выводы и вклад каждого автора. Оперативное прокачивание пачки силиката натрия при вскрытии поглощающих интервалов на рабочей рецептуре раствора КЦР позволит существенно сократить непроизводительное. В разработке данной технологии принимала участие компания АО «НПО «ПОЛИЦЕЛЛ» в лице Панкова Виталия Юрьевича.

Список литературы:

1. Живаева В.В., Нечаева О.А., Новые подходы по борьбе с поглощениями бурового раствора // Экспозиция нефть газ. – 2016. - №7. – С. 22;
2. Харитонов А.Д., Специальные материалы, предназначенные для ликвидации поглощений бурового раствора // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. – 2014. - №1. – С. 183-186;

Научный руководитель: к.т.н., доцент О.А. Нечаева

ЧЭНЬ ГУАНЬЛИНЬ, ВАН ЦЗЫЧЖЭНЬ

Китайский нефтяной университет

**НОВЫЙ МЕТОД РАННЕГО МОНИТОРИНГА ВЫБРОСА ГАЗА,
ОСНОВАННЫЙ НА ОБУЧЕНИЕ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМИЧЕСКИХ
КОМПОЗИЦИЙ**

CHEN GUANLIN, WANG ZIZHEN

China University of Petroleum

**A NEW METHOD FOR EARLY GAS KICK MONITORING BASED ON ENSEMBLE
LEARNING**

In this paper, an ensemble learning classification method is proposed for early gas kick monitoring based on logging data, and effectiveness of the model is evaluated by the data of a well in the South China Sea.

Gas kick monitoring is of great significance for prevention of blow-out accidents. The conventional gas kick monitoring methods are mainly based on variation of up-return mud parameters, whose further improvement relies primarily on successive enhancement in flowmeter accuracy and improvement in the acquisition method of mud parameters. However, the conventional monitoring methods are heavily dependent on mud parameters, and they can hardly meet demands of timeliness of gas kick monitoring in deep water drilling due to positive correlation between well depth and the time required for mud return. Advances in artificial intelligence technologies in recent years have led to high accuracy of machine learning method in solving nonlinear classification problem, and some scholars have introduced supervised learning, "Long Short-Term Memory" and other machine learning methods into the field of early gas kick monitoring. Most studies nevertheless are limited to typical gas kick events. Identification of gas kick based on field drilling data remains a challenge.

In this paper, the response model of gas kick state is established based on partial parameters of logging data using ensemble learning classification method, and recognition accuracy of model is improved as much as possible while false alarm rate is reduced.

Firstly, we calculate the correlation between each parameter and the output by random forest method and analyze mechanism of the change of logging parameters due to the occurrence of gas kick. It is found that the two parameters of stand pipe pressure and outlet density have the strongest correlation with gas kick events. For the model construction, Bagged Trees, Subspace-KNN and optimized ensemble learning algorithms are deployed, as well as the Rusboosted algorithm which performs well in small sample problems, using mechanical parameters (hook load, weight on bit, stand pipe pressure, rate of penetration, torques and flow rate) and mud parameters (mud conductivity, the density of mud outlet) as the model inputs which are preprocessed by median filtering and normalization, abnormal gas measurement results as the output. Eight different data sets are designed according to the number of mud parameters and the judgment method of gas anomaly (single-point method or continuous-point method). This paper provides a method to avoid "false positive" response as much as possible in judgement of gas anomaly. That is, the continuous judgment method is used for output label calibration: When judging whether a certain depth point is the output parameter "1", it is necessary to extract and identify whether the upper and lower adjacent 5 meters are all abnormal in gas measurement at the same time. If yes, the output parameter is "1"; otherwise, it is "0". In this paper, this method is named as "continuous point" judgment method, and the direct judgment method mentioned above is "single point" judgment method.

After that, a weighted synthesis error calculation method is proposed for model evaluation according to field production requirements. Finally, it is concluded that the data set combination of "continuous point" method, fast parameters and outlet density has the minimum comprehensive error. The missing alarm rate of gas invasion events of this model is only 2.7%, and the comprehensive error is 7.18%. According to the analysis of the models established with different data sets by method of control variables, it is shown that the introduction of the conductivity parameter will affect model identification for gas kick due to high correlation between the mud conductivity and the outlet density. And the "continuous point" method is slightly better than the "single point" method. Besides, by using only mechanical parameters as the inputs, the response time of the model can be greatly reduced due to the real-time acquisition of mechanical parameters, yet still with reliable results and the comprehensive error as low as 7.56%. Application of the best-performed ensemble learning model to the actual gas kick recognition, for the 4,100m to 4,200m and the 4,300m to 4,500m sections where gas kick events occur frequently, has succeeded in identification of most of gas kick events. Combined with the on-site alarm continuity analysis, this model can fit the needs of on-site construction very well.

Guanlin Chen: Conceptualization, Methodology, Formal analysis, Investigation, Writing - original draft. Zizhen Wang: Conceptualization, Methodology, Funding acquisition, Writing - review & editing.

List of references:

1. Ahmad K. Sleiti, Gorakshnath Takalkar, Muftah H. El-Naas, Abu Rashid Hasan, Mohammad Azizur Rahman, 2020. Early gas kick detection in vertical wells via transient multiphase flow modelling: A review. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 80, 103391. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2020.103391>.
2. Augustine Osarogiagbon, Somadina Muojeke, Ramachandran Venkatesan, Faisal Khan, Paul Gillard, 2020. A new methodology for kick detection during petroleum drilling using long short-term memory recurrent neural network. *Process Safety and Environmental Protection*. 142, 126-137. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.05.046>.
3. Jonathan F. Galdino, Gabriel M. Oliveira, Admilson T. Franco, Cezar O.R. Negrão, 2019. Gas kick detection and pressure transmission in thixotropic, compressible drilling fluids. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 180, 138-149. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.05.029>.
4. Kristian Gjerstad, Ole Morten Aamo, 2021. A dynamic model of two-phase flow for simulating gas kick and facilitating model-based control in drilling operations. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 205, 108902. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.108902>.
5. Yin Qishuai, Yang Jin, Tyagi Mayank, Zhou Xu, Hou Xinxin, Cao Bohan, 2021. Field data analysis and risk assessment of gas kick during industrial deepwater drilling process based on supervised learning algorithm. *Process Safety and Environmental Protection*. 146, 312-318. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.08.012>.
6. Yin Qishuai, Yang Jin, Tyagi Mayank, Zhou Xu, Wang Ning, Tong Gang, Xie Renjun, Liu Hexing, Cao Bohan, 2022. Downhole quantitative evaluation of gas kick during deepwater drilling with deep learning using pilot-scale rig data. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 208, 109136. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.109136>.
7. Dinh Minh Nhat, Ramachandran Venkatesan, Faisal Khan, 2020. Data-driven Bayesian network model for early kick detection in industrial drilling process. *Process Safety and Environmental Protection*. 138, 130-138. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.03.017>.

Supervisor of studies: Drilling engineering, associate professor Zizhen Wang

Секция 3. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА XXI ВЕКА

АЗАРОВ В.А., ИВАНИК С.А.
Санкт-Петербургский горный университет

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭТАНСОДЕРЖАЩЕГО ГАЗА ПУТЁМ ЕГО СМЕШЕНИЯ С СЕНОМАНСКИМ ГАЗОМ

AZAROV V.A., IVANIK S.A.
Saint Petersburg Mining University

JUSTIFICATION OF THE EFFICIENCY OF USING ETHANE-CONTAINING GAS BY MIXING IT WITH CENOMANIAN GAS

В настоящее время добыча большей части природного газа в Российской Федерации ведется, в основном, с залежей сеноманского газа в Западной Сибири, который является наиболее легкоизвлекаемым и требующим наименьших затрат на подготовку к транспортировке и реализации. Этим объясняется активное истощение запасов газа данного типа и наиболее активное использование его в качестве сырья для различных отраслей топливно-энергетического комплекса и поставки на экспорт. Постепенно на смену сеноманских залежей придут валанжские и ачимовские с большей глубиной залегания, что приведет к качественным изменениям в структуре запасов газа, связанные с увеличением доли этансодержащего газа. При этом задача полного использования этансодержащего газа стоит достаточно остро. Сохранение этансодержащего газа создаст возможность не только высвободить дополнительные резервы для подачи газа на экспорт и потребителям, но и позволит избежать экологических и ресурсосберегающих проблем при сжигании газа на факеле. В работе обосновано использование смешения этансодержащего и сеноманского газа с целью дальнейшей поставки полученной смеси в систему магистральных газопроводов.

Процесс смешения газов с различных залежей производится на некоторых месторождениях [1]. Вопросы смешения газов различных залежей становятся все более актуальными в последнее время. Однако на данном этапе наблюдается достаточно слабая проработка вопроса получения газовой смеси хорошего товарного качества.

В настоящее время большое внимание уделяется развитию газохимических и газоперерабатывающих производств, однако, при этом может возникнуть проблема полного использования этансодержащего газа при его переработке. Известно о том, что этансодержащий газ с газоперерабатывающих заводов может поступать в систему магистральных газопроводов, при этом содержание этана колеблется в пределах от 12 до 16% [2]. Данная величина существенно отличается от состава газа, перекачиваемого по единой системе газоснабжения (ЕСГ), где типичным значением содержания этана является 3%. Высокое содержание этана в природном газе ухудшает его качество. Одним из последствий повышенного содержания этана может быть, например, повышение точки росы, что ведет к гидратообразованию. По данной причине появляется проблема регулирования оптимального количества этана в природном газе. Одним из известных способов регулирования является использование схемы смешения

газа при постоянном давлении, которая используется в трубопроводном транспорте. Общая схема смешения представлена на рисунке 1.

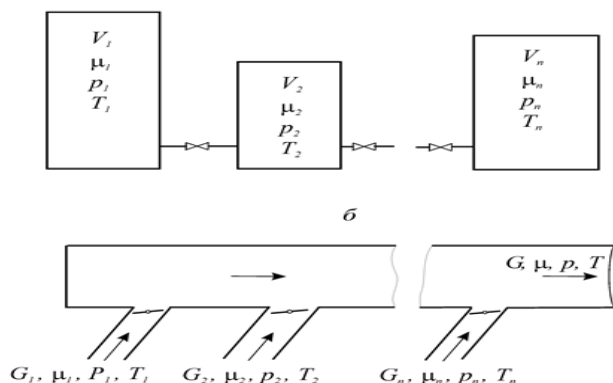


Рисунок 1. Схема смешения при постоянном давлении [3]

Для смешивания сеноманского и этансодержащего газа данная схема является достаточно перспективной вследствие того, оба газа транспортируются по системе магистральных газопроводов, что позволит при соответствующем конструктивном и технологическом оформлении создать определенный узел смешения, а при близости значений давлений в газопроводах позволит упростить задачу по получению необходимой смеси. На данный момент имеется опыт смешения газа различного состава с сеноманских, ачимовских и валанжинских залежей МПК ООО «Газпром добыча Уренгой» и дальнейшей поставки данной смеси в магистральные газопроводы [4]. Содержание этана в полученной газовой смеси составляет примерно 4-6%. При этом содержание этана в газе сеноманских залежей, как правило, менее 1%. По причине того, что сеноманский газ в настоящее время является основным сырьём, транспортируемым по ЕСГ, при смешении этансодержащего и сеноманского газа необходимо обеспечивать и контролировать оптимальный компонентный состав газа.

На основании проведенного анализа планируется исследование процесса смешения сеноманского и этансодержащего газа с целью выявления приемлемых параметров, обеспечивающих как можно меньшее содержание этана в природном газе.

Список литературы:

1. Внедрение технологии совместного компримирования газа сеноманской залежи и ачимовских отложений / А. Ю. Корякин, Р. Н. Исмагилов, В. Ф. Кобычев, С. А. Серебрянский // Экспозиция Нефть Газ. – 2018. – № 1(61). – С. 33-37.
2. Сухарев, М. Г. Распределение компонентного состава газа по трубопроводам газотранспортной системы / М. Г. Сухарев, А. С. Казак, Е. В. Фомина // Территория Нефтегаз. – 2019. – № 9. – с. 70-79.
3. Поршаков Б.П., Бикчентай Р.Н., Романов Б.А. Термодинамика и теплопередача (в технологических процессах нефтяной и газовой промышленности): Учебник для вузов. М.: Недра, 1987. 349 с.
4. Мазанов С.В., Корякин А.Ю., Абдуллаев Р.В., Типугин А.А. Инновационные технические решения по совместной эксплуатации сеноманских и валанжинских промыслов месторождений Большого Уренгоя // Материалы XXII Международного конгресса Новые технологии газовой, нефтяной промышленности, энергетики и связи. М.: Экономика, 2015, с. 104–109.

Научный руководитель: к.т.н., доцент С.В. Модестова

БАТЫРОВ А.М.
Санкт-Петербургский горный университет

**АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ОПОР НАДЗЕМНЫХ
МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ В АРКТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

BATYROV A.M.
Saint Petersburg Mining University

**ANALYSIS OF THE EXISTING STRUCTURES OF SUPPORTS OF ABOVE-
GROUND MAIN PIPELINES IN ARCTIC CONDITIONS**

Введение. Основные месторождения и головные участки магистральных газопроводов России эксплуатируются в Арктических условиях, что предъявляет высокие требования к обеспечению их долговечности в эксплуатации [1].

Поскольку, подземная прокладка газопровода на участках многолетнемерзлых грунтов (ММГ) приводит к формированию вокруг газопровода большую площадь оттаивания с образованием протяженных обводненных зон вдоль трубопровода, поэтому основным способом прокладки газопровода принимают надземный способ, который уменьшает возникновение и развитие опасных процессов [2].

Надземный трубопровод сооружается на опорах, установленных в вечномёрзлый грунт. Пролет между опорами определяется проектным расчётом [3].

При надземной прокладке газопровода диаметром 1000 – 1400 мм происходят проблемы с обеспечением устойчивости положения труб на опорах, в связи с этим возникают трудности найти экономически приемлемые методы их решения [4].

Изменение геокриологических условий грунтов оснований сооружений, как в процессе строительства, так и во время эксплуатации оказывает сильное воздействие на стабильность сооружений и, соответственно, на их устойчивость. Проявление негативных технологических инженерно-геологических процессов пучения, термокарст, осадки при таянии мерзлого грунта и др. начинается с незначительных изменений в установившемся тепловом балансе в геотехнической системе "атмосфера - сооружение - ММГ". Так, например, на месторождении «Медвежье» многолетнее выпучивание свай составило 150–180 мм. Среднегодовая температура грунтов меняется от минус 5°C до близкой к 0°C [5].

Опоры устанавливаются на свайные основания, количество свай от 2 до 8. Неподвижные опоры установлены вдоль дороги через каждые 500 метров, между ними трубопровод поддерживают промежуточные опоры – свободно-подвижными и продольно подвижными. Такая сложная конструкция позволяет трубопроводу перемещаться в осевом и поперечном направлении при возникновении внутренних и внешних сил.



Рисунок 1 Участок завершеного строительства

Разработка вспомогательных конструкций - это инновационное решение. Расчеты подтверждают, что принятая конфигурация надземных участков позволяет поддерживать газопровод с необходимой жесткостью даже при падении двух опор. Это позволяет создавать различные опорные конструкции для обеспечения минимальной металлоемкости конструкций.

Известно, что подвижные опорные детали должны быть достаточно технологичными при изготовлении и монтаже, иметь минимальную массу, не требовать технического обслуживания во время эксплуатации, допускать большие перегрузки при неравномерной осадке опоры и быть достаточно прочными.

В местах, где трубопровод переходит в профиль, где труба может быть отделена от опоры, опорные части могут быть подпружинены так, чтобы вертикальная составляющая реакции опоры всегда передавалась на нее (рисунок 2). В противном случае эти опоры будут периодически выключаться из работы.

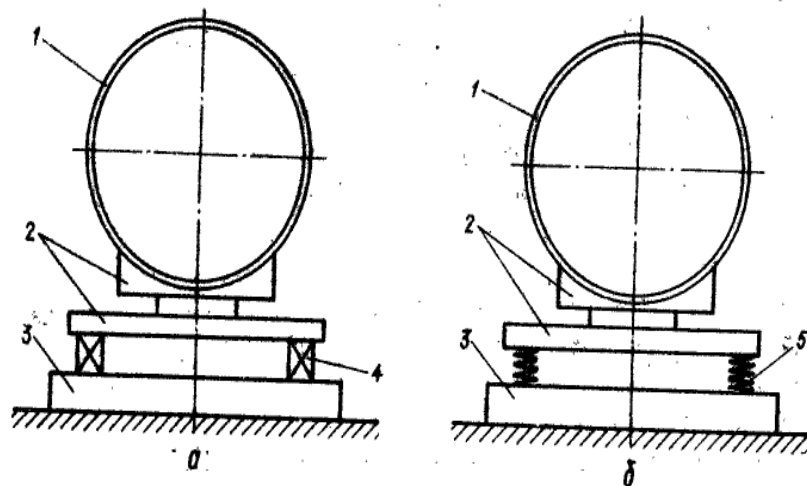


Рисунок 2. Специальные конструкции опор, где: а – регулируемая, б – подпружиненная, 1 - труба, 2 – элементы опорной части, 3 - несущая конструкция, 4 – регулировочные устройства, 5 – упругие элементы

Однако известный способ не позволяет полностью компенсировать процесс пучения, который протекает неравномерно.

Заключение.

Предлагается снизить риски аварий магистральных газопроводов, расположенных в осложненных условиях, вызванные влиянием силы морозного пучения на опоры. Одним из недостатков опор является, невозможность компенсации изменения горизонтального высотного положения ригеля при неравномерной осадке или выпирании свай из грунта, что приводит к дополнительным нагрузкам на трубопровод из-за скольжения опоры по наклонной поверхности ригеля. Кроме того, отсутствие жесткой связи между сваями может привести к отклонению свай и падению опор при сейсмическом воздействии и ударе трубопровода с ложементом опоры по демпферу, закрепленному на свае. Выявленные достоинства и недостатки существующих конструкций устройств будут использоваться при дальнейшем патентовании.

Для решения задач связанных с устойчивостью опор установленных в вечномёрзлый грунт предлагается разработать новый вид опоры. Данная опора будет выдерживать специальные нагрузки мерзлых грунтов, а также компенсировать вибрацию газопровода.

Список литературы:

1. Лалин, В. В. Расчетное обоснование конструкции надземного участка газопровода в условиях Крайнего Севера / В. В. Лалин, А. В. Яваров // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. – 2010. – Т. 257. – С. 112-116.
2. Бадина Я.С. Выпускная квалификационная работа. Исследование комплекса мероприятий по технологии сооружения нефтепроводов в условиях многолетнемерзлых грунтов. Бадина Я.С. НИ ТПУ. 110 с.
3. Особенности сооружения трубопроводов на вечномёрзлых грунтах - Сооружение и ремонт газонефтепроводов и газонефтехранилищ (studbooks.net)
4. Министерство строительства предприятий нефтяной и газовой промышленности всесоюзный научно исследовательский институт по строительству магистральных трубопроводов строительство магистральных и промысловых трубопроводов в условиях вечной мерзлоты. Москва 1990
5. Технология и технические средства термостабилизации мерзлых грунтов оснований магистральных и промысловых трубопроводов в криолитозоне Баясан Р.М. Генеральный директор АОЗТ «Интер Хит Пайп» Голубин С.И

Научный руководитель: д.т.н., профессор И.А. Шаммазов

ДЖЕМИЛЁВ Э.Р.
Санкт-Петербургский горный университет

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА РЕМОНТНЫХ РАБОТ С
ВЫРЕЗКОЙ ДЕФЕКТНЫХ УЧАСТКОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕ- И
ГАЗОПРОВОДОВ**

DZHEMILEV E.R.
Saint Petersburg Mining University

**INCREASING THE EFFICIENCY OF THE REPAIR PROCESS WITH CUTTING
OUT THE DEFECTIVE SECTIONS OF MAIN OIL AND GAS PIPELINES**

Одним из наиболее часто применяемых методов ремонта магистральных трубопроводов является вырезка дефектного участка. При осуществлении данного метода ремонта возможно резкое смещение концов трубопровода после его резки, что является небезопасным для жизни и здоровья рабочих, приводит к поломке фрезы и вырыванию металла трубы в конце процесса резки. При этом регламентом по вырезке дефектных участков магистральных трубопроводов РД 153-39.4-067-04 не предусматривается комплекс работ по устранению возможного смещения концов трубопровода перед его резкой [1]. В связи с этим для минимизации величины смещения концов трубопровода в производственных условиях его зачастую прижимают ковшом экскаватора, что противоречит технике безопасности ведения ремонтных работ. К тому же для дальнейшей приварки нового участка необходимо осуществлять центрирование концов трубопровода до положения их соосности. Для этого применяются тяжелые и дорогостоящие трубоукладчики, транспортировка которых к месту производства ремонтных работ требует дополнительной оплаты разрешения на провоз негабаритной техники.

Смещение концов трубопровода в результате его резки представлено на рисунке 1.



Рисунок 1. Смещение концов трубопровода в результате его резки

Для обоснования нецелесообразности применения трубоукладчиков в процессе ремонтных работ с точки зрения экономической эффективности был проведен расчет эксплуатационных затрат на производство работ по вырезке дефектных участков магистральных трубопроводов одним сервисным подразделением, осуществляющим 40 вырезок в год с применением двух трубоукладчиков при каждом ремонте.

Доля каждого вида эксплуатационных затрат в общей их структуре представлена на рисунке 2.



Рисунок 2. Распределение годовых эксплуатационных затрат при ремонте по применяемой технологии

В результате расчета сумма эксплуатационных затрат на производство ремонтных работ составляет 16,326 млн руб, при этом подавляющая часть затрат обусловлена применением трубоукладчиков для центрирования концов трубопровода.

Из вышесказанного следует, что применяемые в настоящее время техника и технология проведения ремонта магистральных трубопроводов с вырезкой их дефектных участков являются технологически и экономически неэффективными, а также обладают низким уровнем производственной безопасности. В связи с этим требуется разработка альтернативных вариантов техники и технологии ведения ремонтных работ, позволяющих избежать резкого смещения концов трубопровода, осуществлять их центрирование перед приваркой нового участка, а также минимизировать величину эксплуатационных затрат на проведение ремонта.

На основе выявленных технологических недостатков применения трубоукладчиков для центрирования концов трубопровода сформулируем требования к устройствам, которые могут применяться для фиксирования положения трубопровода перед резкой и дальнейшего центрирования его концов. К таким требованиям относятся: использование устройства исключает присутствие рабочего персонала в траншее в процессе осуществления работ по вырезке дефектного участка; позволяет фиксировать концы трубопровода перед производством его резки; позволяет центрировать концы трубопровода друг относительно друга перед приваркой нового участка; обладает простой конструкцией; монтаж устройства осуществляется с минимальным объемом дополнительных земляных работ; устройство удобно транспортировать.

С учетом вышеперечисленных условий было разработано устройство фиксирования и центрирования концов трубопровода, устанавливаемое над траншеей, закрепляющееся с помощью буровых анкеров по ее краям для фиксирования положения самого устройства, а также оборудованное захватом трубопровода с системой гидроцилиндров для фиксирования положения трубопровода перед его разрезанием и манипулирования концами трубопровода при их центрировании.

Далее была произведена оценка максимальной стоимости предлагаемых устройств, исходя из срока их окупаемости, равного двум годам, и рассчитанной ежегодной экономии эксплуатационных затрат за счет применения устройств вместо используемых в настоящее время трубоукладчиков. В результате расчета максимальная стоимость устройств фиксирования и центрирования, составит 21 584,8 тыс. руб., чистый дисконтированный доход к концу срока эксплуатации предлагаемых устройств, равного десяти годам, составит 35 259,88 тыс. руб. для одного сервисного подразделения компании, осуществляющей транспорт нефти и газа.

Также для повышения уровня производственной безопасности и технологической эффективности процесса ремонта необходима разработка такой технологии, которая позволила бы учитывать напряженно-деформированное состояние магистрального трубопровода перед проведением ремонтных работ, что позволит рассчитать величину возможного смещения его концов при необходимой длине ремонтного котлована, исходя из чего выбрать места установки устройств фиксирования и центрирования концов трубопровода и рассчитать необходимые для центрирования усилия.

Для расчета напряженно-деформированного состояния трубопровода были рассмотрены следующие возможные схемы его центрирования в процессе ремонта: центрирование с подъемом или опусканием конца трубопровода при действии на трубопровод только распределенной нагрузки от собственного веса; центрирование с подъемом или опусканием конца трубопровода на ограниченных длинах ремонтного котлована при действии на трубопровод распределенных нагрузок от собственного веса и веса грунта за пределами котлована; центрирование совместно в вертикальном и горизонтальном направлениях при действии на трубопровод распределенных нагрузок от собственного веса и от сопротивления горизонтальным перемещениям.

Для описания прогиба трубопровода применялось уравнение прогиба балки, записанное с следующим виде [2, 3]:

$$EI_x y''(z) = M \quad (1)$$

где E – модуль упругости Юнга стали трубопровода, Па; I_x – осевой момент инерции сечения трубопровода, м⁴; z – координата по длине трубопровода, м; M – изгибающий момент, действующий на трубопровод, Н/м.

Осевой момент инерции трубы рассчитывается по формуле:

$$I_x = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{64} \quad (2)$$

где D, d – наружный и внутренний диаметр трубопровода соответственно, м.

Полученные расчетные зависимости для оценки напряженно-деформированного состояния магистральных трубопроводов показали достаточный уровень сходимости с результатами моделирования методами конечно-элементного анализа в программном комплексе ANSYS, что демонстрирует корректность проведенных расчетов.

С точки зрения экономической эффективности предлагаемые устройства и методика проведения ремонтных работ продемонстрировали несомненное преимущество перед используемым в настоящее время методом ремонта с применением трубокладчиков. Экономия эксплуатационных затрат составила 14,461 млн руб. в год для одного сервисного подразделения компании, осуществляющей транспорт нефти и газа. По результатам оценки показателей экономической эффективности предлагаемой методики проведения ремонта можно говорить об экономической целесообразности ее реализации и внедрения в промышленное производство.

Список литературы:

1. РД 153-39.4-067-04. Методы ремонта дефектных участков действующих магистральных нефтепроводов. Краснодар: Типография ЦСИ, 2004. 28 с.
2. Айнбиндер А.Б., Камерштейн А.Г. Расчет магистральных трубопроводов на прочность и устойчивость. – М.: Недра, 1982. – 344 с.
3. Камерштейн А.Г. Условия работы стальных трубопроводов и резервы их несущей способности. – М.: Издательство литературы по строительству, 1989. – 241 с.

Научный руководитель: д.т.н., профессор И.А. Шаммазов

ЖУЙКОВ И.В., ПОПОВ Г.Г., ПУНЧЕНКО Г.
Санкт-Петербургский горный университет

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПО ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ УПРУГО-
НАПРЯЖЁННОГО СОСТОЯНИЯ НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ
ТРУБОПРОВОДНЫХ СТАЛЕЙ**

ZHUIKOV I.V., POPOV G.G., PANCHENKO G.
Saint Petersburg Mining University

**DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR ASSESSING THE EFFECT OF THE
ELASTIC-STRESS STATE ON THE CORROSION RESISTANCE OF PIPELINE
STEELS**

На сегодняшний день, основными способами предотвращения аварий, связанных с коррозией, на объектах промышленного транспорта являются применение ингибиторов коррозии, использование труб из пластмасс и стеклопластика, а также использование в качестве материала труб коррозионностойких сталей с добавками хрома, ванадия и титана. Тем не менее, указанные методы защиты не всегда являются экономически и технически обоснованными, а иногда и вовсе оказываются неэффективными. Поэтому вопрос поиска новых методов предотвращения и «замедления» процесса внутренней коррозии промышленных трубопроводов является актуальным. Справедливо предположить, что поиск таких методов, должен быть основан на глубоком анализе причин, вызывающих ускоренное протекание коррозии. Установлено, что одним из факторов, интенсифицирующих коррозионный процесс, является напряжённое состояние металла трубопровода [1].

Действующая в нашей стране нормативная документация по проектированию промышленных трубопроводов рассматривает напряжения в трубе с позиции обеспечения прочности и устойчивости объекта, при этом, для их расчёта используются коэффициенты условий работы, значения которых формируются исходя из данных о фактической работе материала в тех или иных условиях эксплуатации. Учитывая данные статистики [2], согласно которой к 2017 году в Ханты-Мансийском автономном округе наблюдался рост аварий на промышленных нефтепроводах пропорциональный росту добычи нефти, можно заключить, что эти коэффициенты нуждаются в доработке посредством аналитического описания. В частности, описанию должен подлежать и рассматриваемый нами фактор – механохимический. Оценка вклада этого фактора в коррозию различных видов сталей невозможна без грамотно составленной методики.

Авторами предлагается методика, основанная на фотометрическом определении величины коррозионного поражения напряженных стальных образцов [3]. Суть методики заключена в сравнении фокусного расстояния до заданных точек образца в его исходном не корродированном виде с фокусным расстоянием до тех же точек после коррозионных испытаний. Разница этих значений представляет собой величину коррозионного поражения за время испытаний.

Образцами, согласно методике, являются стальные пластины 150x15x3,5 мм. На каждом из образцов выделяются три зоны, указанные на рисунке 1.



Рисунок 1. Расположение зон измерения на пластинах (1 – зона сжимающих напряжений на внутренней стороне, 2 – зона без напряжений, 3 – зона растягивающих напряжений на внешней стороне, пунктирные линии – линии измерений фокусного расстояния до точек, сплошные линии – линии нулевых отметок)

Предварительно на каждой из зон создаются шлифы, и наносятся по два надреза с расстоянием не менее 5 мм между ними. Поверхность пластины на линии первого надреза принимается за нулевую точку, перед испытаниями эта линия покрывается эмалью с целью предотвращения коррозии металла на ней. Измерения фокусного расстояния на линии измерений (соответствует второму надрезу) производятся с помощью металлографического микроскопа Leica относительно нулевой точки, таким образом становится возможным получение разницы между фокусными расстояниями до и после испытаний. Результатом измерения является своеобразный профиль поверхности линии измерений, составленный из разностей фокусных расстояний до точек на этой линии и до нулевой отметки.

После измерения исходных фокусных расстояний, пластинам придаётся упругое напряжение с помощью струбицы с болтом и пластмассовых вкладышей (рисунок 2), что позволяет избежать появления нежелательной контактной коррозии. При этом стрела прогиба, необходимая для придания заданного уровня напряжений, определяется в соответствии с ГОСТ 9.909-86 [4].

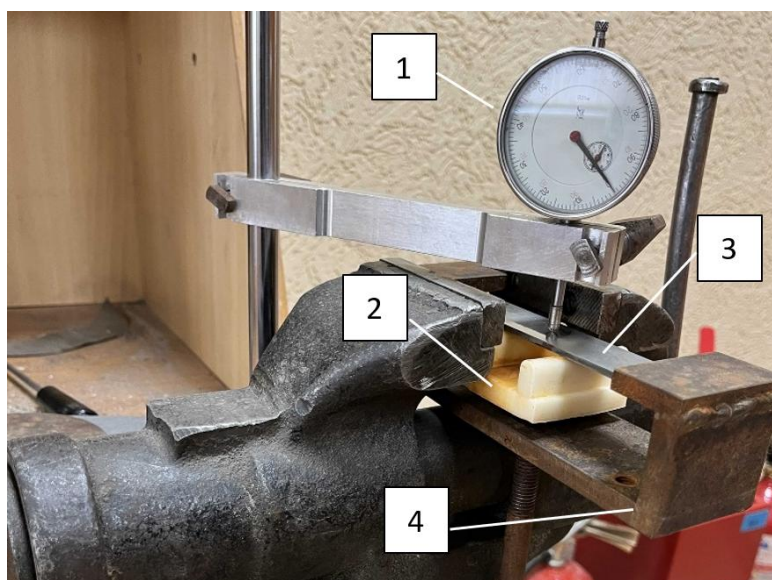


Рисунок 2. Придание образцам заданного уровня напряжений (1- индикатор часового типа, 2 – пластмассовый вкладыш (ГОСТ 9.909-86), 3 – металлический образец, 4 – струбица с нажимным болтом)

На следующем этапе образцы находящиеся в трубцинах помещаются в 3,5% раствор NaCl [5], как в среду имитирующую минерализованную пластовую воду, перекачиваемую по промышленным нефтепроводам вместе с неподготовленной нефтью, также к каждому образцу подаётся воздух с помощью компрессора. После 40-часовой выдержки образцов в коррозионной среде они промываются, снимается эмаль с нулевых точек и производится измерение фокусного расстояния до точек на линии измерения корродированной поверхности. Кроме того, отмечаются и расстояния до особо глубоких язв на поверхности металла, при их наличии.

Полученные значения фокусных расстояний в виде профилей на участках с напряжениями и без них сопоставляются между собой, а также со значениями, полученными на других образцах с отличным уровнем напряжений. В результате анализа полученных данных, делаются выводы о степени ускорения коррозионного процесса под напряжением для конкретного вида стали.

Подводя итог, следует отметить, что предложенная методика позволяет дать количественную оценку влияния напряжённого состояния на скорость коррозии стали. Это позволяет сделать вывод о необходимости учёта механохимического фактора в тех или иных условиях эксплуатации и, соответственно, о целесообразности корректировки коэффициентов условий работы при проектировании промышленных нефтепроводов. Таким образом, рассматриваемая методика в перспективе может способствовать повышению срока службы объектов промышленного транспорта нефти.

Список литературы:

1. Гутман, Э. М. Механохимия металлов и защита от коррозии / Э. М. Гутман. – Москва: Металлургия, 1981. – 270 с.;
2. Статистический анализ причин возникновения утечек на промышленных нефтепроводах / Мамонтов А.А., Смычѣк М.А. // Российско-китайский научный журнал «Содружество» - 2018. - № 23. – с. 26-29.;
3. Патент № 2757634 Российская Федерация, МПК МПК G01N 17/00 (2006.01) Способ оценки стойкости трубопроводных сталей к "канавочной" коррозии: № 2021106581 : заявл. 15.03.2021 : опубл. 19.10.2021 / Болобов В. И., Попов Г. Г., Сивенков А. В., Жуйков И. В. ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет». – 12 с.;
4. ГОСТ 9.909-86. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы, сплавы, покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы испытаний на климатических испытательных станциях. – Введен 1987- 07-01. – М.: Издательство стандартов, 1993. – 22 с.;
5. ASTM G44-99(2013), Standard Practice for Exposure of Metals and Alloys by Alternate Immersion in Neutral 3.5 % Sodium Chloride Solution, ASTM International, West.

Научный руководитель: д.т.н., профессор В.И. Болобов

ЗАРЕЦКИЙ А.Д., ОВЧИННИКОВ Е.С.
Санкт-Петербургский горный университет

**АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОЛИЗА ВОДОРОДА В УСЛОВИЯХ
ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ**

ZARETSKY A.D., OVCHINNIKOV E.S.
Saint Petersburg Mining University

**ANALYSIS OF THE HYDROGEN ELECTROLYSIS PROCESS IN A GAS
DISTRIBUTION STATION**

Поскольку одним из ключевых трендов нынешней глобальной энергетики является политика декарбонизации (уменьшение выбросов диоксида углерода в атмосферу), то «зелёный» водород является одним из важнейших ресурсов, сопутствующих ее развитию. Председатель правительства РФ М. Мишустин 12 октября 2020 года подписал распоряжение о «Развитии водородной энергетики в РФ до 2024 года», что говорит о готовности правительства формировать фундамент для дальнейшего использования водорода как в стране, так и за ее пределами [1].

На сегодняшний день существует проблема эффективной утилизации энергии природного газа при его транспорте потребителю. Для осуществления поставок в конечный пункт давление газа, находящегося в магистральном газопроводе, понижается в несколько раз, вследствие чего газ теряет свою энергию. Известным решением данной проблемы является применение детандер-генераторного агрегата (ДГА), который во время редуцирования преобразует энергию давления природного газа в электрическую [2]. Ее, в свою очередь, можно использовать для собственных нужд ГРС, а также для производства такого ценного энергетического ресурса, как водород.

В ходе исследования был рассмотрен теоретический объём вырабатываемой электроэнергии на ГРС Ленобласти. Так, 30% рассмотренных станций, в случае установки детандеров, имеют возможность вырабатывать 3-7 МВт электроэнергии, 40% - 100-900 кВт, оставшиеся 30% - менее 100 кВт. Предложена потенциальная схема генерации водорода непосредственно на ГРС с использованием турбодетандера, благодаря которому вырабатывается электроэнергия, водно-щелочного электролизера (ВЩЭ) и оборудования для очистки полученного газа от примесей. Выполнено сравнение теоретических и фактических данных по объему генерируемого водорода, установлена зависимость количества производимого водорода от расхода газа на пункте дросселирования, а также произведен экономический расчет, показавший, что реализация подобного проекта обойдется приблизительно в 340 млн. руб., а срок его окупаемости при стоимости водорода 65 руб./м³ [3] составит около 2 лет. В качестве возможных вариантов применения полученного энергоресурса рассматривается его закачка в баллоны с целью длительного хранения и дальнейшего транспорта потребителю, использование водорода в структуре ГРС, а именно в узлах подогрева газа перед турбодетандером, а также использовать его для добавления в смесь природного газа и закачки в трубопровод для повышения энергетической ценности смеси.

Дальнейшие исследования подразумевают изучение зарубежных аналогов получения водорода с помощью ВЩЭ, а именно с помощью возобновляемых источников энергии.

Список литературы:

1. Распоряжение правительства РФ о «Развитии водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года» от 12 октября 2020 г.
2. Фокин Г.А. Методология создания автономных турбинных источников электрической энергии, использующих энергию сжатого природного газа для собственных нужд газотранспортной системы России: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.04.02 / Фокин Григорий Анатольевич. – СПб., 2015. – 456 с.
3. Аминов Р.З., Байрамов А.Н. Оценка эффективности получения водорода на базе внепиковой электроэнергии АЭС, Альтернативная энергетика и экология, 05(04): 59-70.

Научный руководитель: к.т.н., доцент А.Е. Белоусов

КРИЦКАЯ В.И.

Белорусский национальный технический университет

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СХЕМ ВОДОЗАБОРОВ ПРИ ЦИРКУЛЬНОМ
РАЗМЕЩЕНИИ СКВАЖИН**

KRYTSKAYA V.

Belarusian National Technical University

**COMPARATIVE ANALYSIS OF WATER INTAKE SCHEMES WITH CIRCULAR
WELL PLACEMENT**

В работе приводится сравнительный анализ гидравлических схем водозаборов с циркульным расположением скважин при линейной и кольцевой схемах размещения сборных водоводов, а также схемы водозабора с индивидуальными радиальными линиями от скважин к сборному узлу.

Актуальность исследования заключается в том, что правильный подбор схемы размещения сборных водоводов при выборе варианта для проектирования группового скважинного водозабора должен привести к оптимальным энергозатратам на транспортировку воды. Вопрос энергосбережения является приоритетным для профильных предприятий.

Для хозяйственно-питьевого водоснабжения широко используются групповые скважинные водозаборы подземных вод. Группу скважин необходимо определенным образом разместить по площади выбранного участка и объединить между собой сборными водоводами. Совокупность скважин водозабора представляет собой гидродинамически взаимосвязанную систему. Поэтому основой для выбора наилучшего варианта являются гидравлические расчеты каждого из них при условии учета гидродинамических закономерностей притока воды к скважинам и гидравлических параметров системы транспортировки воды. В качестве оптимального варианта принимают такой водозабор, который не только обеспечивает подачу воды потребителю в заданном количестве и с требуемым напором, но имеет, кроме этого, наименьшие затраты на строительство и эксплуатацию. Технико-экономическое

обоснование строительства скважинного водозабора подземных вод с наименьшими затратами при условии экономичности его эксплуатации является одной из основных задач, стоящих перед проектировщиками [1-4]. К проектированию в результате технико-экономических расчетов принимают наименее затратный вариант. Чтобы такие расчеты выполнить, необходимо сначала произвести гидравлический расчет водозаборов по каждому из вариантов с нахождением подач насосов при заданных длинах и диаметрах водоводов с учетом напорных характеристик насосов и скважин.

Как указывается в работах [1-3], одним из распространенных способов организации водозаборов из подземных источников являются водозаборы с кольцевым соединением сборных водоводов. Кольцевые сборные водоводы в основном применяются при кольцевых и площадных схемах соединения водозаборных сооружений.

Рассмотрим некрупный групповой водозабор, состоящий, например, из шести концентрично расположенных водозаборных скважин (рис. 1).

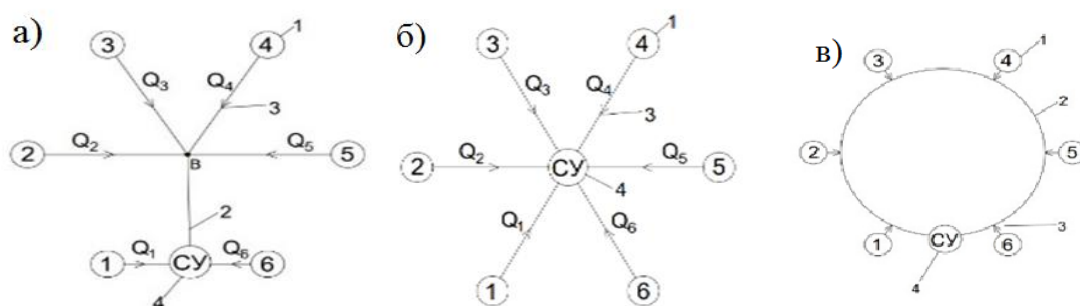


Рисунок 1. Схема водозаборов с циркульным размещением скважин: с линейным сборным водоводом (а), без сборного водовода (б) и с кольцевым сборными водоводом (в) и.; 1-скважина; 2- сборный водовод; 3- линия подключения скважин к сборному водоводу; 4- сборный узел

Рассмотрим три варианта водозаборов: два линейных водозабора, в которых сборные узлы располагаются на периферии (рис. 1а) и в центре водозабора (рис. 1б), один кольцевой водозабор (см. рис. 1в). Все водозаборы имеют одинаковое количество концентрично расположенных скважин, пробуренных в тех же точках местности. На рис. 1а часть скважин соединена с помощью индивидуальных радиальных линий с центром водозабора (точка В), откуда начинается сборный водовод, а другая часть подключена непосредственно к сборному узлу. На рис. 1б сборный водовод отсутствует, и каждая скважина напрямую соединена со сборным узлом.

Сравнительный анализ схем водозаборов при циркульном размещении скважин (см. рис.1) показывает, что у водозабора с кольцевым сборным водоводом (см. рис.1в) его протяженность составляет весь периметр кольца, что значительно больше, чем у водозабора с линейным сборным водоводом (см. рис.1а), длина которого равна радиусу кольца. Потери напора в трубопроводе, как известно, пропорциональны его длине и квадрату расхода, поэтому, чем длиннее сборный водовод, тем более значительное «тормозящее» влияние он будет оказывать на суммарную производительность всего водозабора при совместной работе скважин на сборный узел. Это чревато возрастанием эксплуатационных затрат на подъем воды из скважин и капитальных затрат на укладку труб больших диаметров. Поэтому в рассмотренных частных случаях циркульного размещения скважин (см. рис.1), с высокой долей вероятности в качестве проектируемого варианта можно будет рекомендовать водозабор с кольцевой батареей

скважин (см. рис.1б), в которой сборный водовод вообще отсутствует. При небольших водозаборах линейный водозабор экономически выгодней кольцевого, так как он не имеет сборных водоводов. Однако для более общего случая, особенно при проектировании крупных водозаборов, всегда возникает необходимость в расчете кольцевого водозабора, принимаемого в качестве одного из конкурирующих вариантов (см. рис.1в).

Список литературы:

1. Пособие по проектированию сооружений для забора подземных вод (к СНиП 2.04.02-84) / ВНИИВОДГЕО Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1989. – 272 с.
2. Абрамов, С.К. Забор воды из подземного источника/ С.К. Абрамов, В.С. Алексеев. – М.: Колос, 1980. -269с.
3. Старинский, В.П. Водозаборные и очистные сооружения коммунальных водопроводов: учеб. пособие / В.П. Старинский, Л.Г. Михайлик – Мн.: Выш. шк.,1989. – 269 с.
4. Ивашечкин, В.В. Газоимпульсная технология восстановления пропускной способности фильтров водозаборных скважин / В.В. Ивашечкин: монография; под ред. А.Д. Гуриновича. – Минск: БНТУ, 2005. – 270 с.

Научный руководитель: д.т.н., профессор В.В. Ивашечкин

МАРТЫНЕНКО Я.В.

Санкт-Петербургский горный университет

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ПАРОВ
СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГАЗОВОГО
ЭЖЕКТОРА**

MARTYNENKO YA.V.

Saint Petersburg Mining University

**IMPROVEMENT OF THE LIQUEFIED NATURAL GAS VAPOR RECOVERY
SYSTEM USING A GAS EJECTOR**

Аннотация. Производство, транспорт и хранение сжиженного природного газа (СПГ) является перспективным направлением в развитии газовой промышленности, благодаря ряду преимуществ топлива, таких как высокий показатель энергоемкости, сокращение занимаемого объема по сравнению с природным газом в газовоздушном состоянии, экологическая эффективность. Однако система хранения СПГ имеет ряд недостатков, один из которых - утилизация отпарного газа из резервуара СПГ путем сжигания на факеле или сброса в атмосферу. Также существуют попытки утилизации избытка паров компрессором, что в свою очередь имеет такие недостатки, как высокие капитальные вложения, эксплуатационные издержки, а также низкие показатели надежности. Авторами данной работы предложено техническое решение такой проблемы, которое заключается в применении газового эжектора для утилизации отпарного газа.

Решаемая проблема. Целью настоящей работы являлось обоснование возможности утилизации отпарного газа при хранении СПГ использованием газового эжектора, в качестве рабочего тела которого выступает природный газ высокого давления, поступающий из подводящего трубопровода. Основная идея предлагаемого технического решения заключается в следующем: в качестве эжектируемого (низконапорного) газа выступает отпарной газ, сбрасываемый из резервуара СПГ, а эжектирующего (высоконапорного) – газ, поступающий из источника высокого давления, в качестве которого выступает магистральный трубопровод природного газа. Высоконапорный поток может быть подведен и из любой другой технологической линии, имеющей высокое давление природного газа, достаточное для работы эжектора. Важно, чтобы эжектирующий поток был схож с отпарным газом по компонентному составу для возможности повторного использования их смеси. Задача исследования состояла в разработке и обосновании методики расчета рабочих характеристик и геометрических размеров эжектора, применимого для утилизации отпарных газов.

Методы исследования. В ходе исследования были использованы общенаучные подходы и методы исследования. С целью постановки цели и задач исследования были применены общелогические методы анализа и аналогии, которые заключались в проведение научного обзора, на основании которого была подтверждена и обоснована актуальность исследуемой проблемы. После чего был разработан алгоритм и схема утилизации паров СПГ, что может служить основой для проведения эксперимента. Однако, прежде чем перейти в этому методу необходимо было применить метод математического моделирования и формирования методики расчета, применимой для разработанного технического решения. Это необходимо для подтверждения эффективности разработанного способа сброса паров СПГ и исключения возможных нестыковок при выполнении эксперимента.

Результаты исследования. Результаты расчета, представленные в работе, демонстрируют применимость предложенного технического решения по усовершенствованию системы утилизации паров сжиженного природного газа применением газового эжектора на примере резервуара СПГ емкостью 300 м³. Предложенная методика расчета технологической обвязки резервуара с эжектором для утилизации отпарного газа включает расчет параметров отпарного газа в резервуаре СПГ, его термодинамических показателей при сбросе через предохранительный клапан и параметров эффективности, а также геометрических размеров эжектора. Это позволяет производить комплексный расчет системы утилизации паров на хранилищах СПГ с эжекторным устройством.

Выводы. Предложенное техническое решение и методика расчета показали свою эффективность на этапе теоретического обоснования. Следует заключить, что разработанный способ утилизации паров сжиженного природного газа и методика оценки его эффективности могут быть подвергнуты натурным экспериментам и дальнейшему внедрению способа на вновь строящихся объектах, имеющих хранилища сжиженного природного газа.

Список литературы:

1. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. В 2 ч. Ч.1: Учеб. Руководство: Для вузов. / Г.Н. Абрамович – М.: Наука, 1991. – 600 с.
2. Донец К.Г. Гидроприводные струйные компрессорные установки. / К.Г. Донец - М.: Недра, 1990. - 174 с.
3. Любин Е.А. Обоснование технологии улавливания паров нефти из резервуаров типа РВС с использованием насосно-эжекторной установки. Диссертация на

соискание ученой степени кандидата технических наук. СПГИ (ТУ). Санкт-Петербург, 2010. - 197 с.

4. Рахимов В.О. Особенности термодинамических процессов при хранении сжиженного природного газа. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. УГНТУ. Уфа, 2013. – 136 с.
5. Халед Амур, Зин Айдун и Мехди Фальсафиун. Экспериментальная работа двухфазного эжектора: геометрия сопла и эффекты переохлаждения // Inventions. 2020/ 5, 23.

Научный руководитель: д.т.н., профессор В.И. Болобов

МИФТАХОВА Э.Р.

Уфимский государственный нефтяной технический университет

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБУЕМОГО КАЧЕСТВА ТОВАРНОЙ НЕФТИ ЗА СЧЕТ
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА КОМПАУНДИРОВАНИЯ НЕФТИ НА
ОСНОВЕ ОПЕРАТИВНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА СЕРЫ**

MIFTANOVA E.R.

Ufa State Oil Technical University

**ENSURING THE REQUIRED QUALITY OF COMMERCIAL OIL THROUGH THE
PERFECTION OF THE PROCESS OF OIL COMPOUNDING ON THE BASIS OF
THE OPERATIONAL DETERMINATION OF THE QUANTITY OF WASER**

Компаундирование нефти – это технология управляемого смешения нефти. В условиях развития современных нефтепроводов возникает множество различных технических проблем. Одна из них – смешение нескольких потоков в один. Но проблема состоит не только в смешивании потоков, а какими условиям руководствоваться, чтобы это сделать максимально эффективно. Это может быть какой – либо параметр качества, технологический параметр либо комбинированные условия. Целесообразнее всего применять комбинированные условия, так как кроме смешивания по качеству, существуют местные технологические условия. Принцип работы – регулирование нескольких потоков продукта в один. При простом, неуправляемом смешении значения показателей качества нефти в потоке нестабильны во времени и варьируются в некотором диапазоне вследствие реализации разных режимов перекачки. При компаундировании, т.е. управляемом смешении, характерную нестабильность потока сглаживают путем дозированной подкачки подготовленной к компаундированию высокосернистой нефти в поток нефти лучшего качества на тех направлениях поставки, где в данный момент, в соответствии с конкретной оперативной обстановкой, имеется запас качества. На регулируемых потоках установлены заслонки-регуляторы.

Применяемая система компаундирования на ЛПДС «Нурлино» позволяет обеспечить поддержание заданных показателей качества компаундированной нефти (содержания серы или плотности) за счет непрерывного контроля качественных показателей этого потока и регулирования расхода потока нефти с высоким содержанием серы, обеспечение контроля давления в нефтепроводе с высокосернистой

нефтью, поступающей в общую магистраль. Система на ЛПДС «Нурлино» поддерживает обеспечение давления в этом трубопроводе выше давления, соответствующего режиму испарения - порогу кавитации, поддерживает обеспечение учета количества нефти, направляемой потребителю по общей магистрали, и количества высокосернистой нефти.

Недостатком данной системы является то, что если содержание серы на потоке сернистой нефти (на входящем потоке на компаундирование) будет приближаться или будет больше, чем заданное значение $S_{зад}$, то заслонка на линии высокосернистой нефти будет прикрываться или закроется полностью. При этом в нефтепроводе на потоке высокосернистой нефти будет повышаться давление, и диспетчер останавливает подкачку высокосернистой нефти. В случае скачкообразного изменения содержания серы на потоке сернистой нефти существует вероятность срабатывания системы предохранительных клапанов, предназначенных для защиты трубопроводов от превышения давления на нефтеперекачивающей станции (НПС) или отключению НПС перекачивающей высокосернистую нефть от максимального давления.

Усовершенствованная система компаундирования дает следующий технический результата: обеспечение поддержания заданных показателей качества компаундированной нефти, обеспечение контроля давления и поддержание давления в заданных пределах в нефтепроводе с высокосернистой нефтью при подкачке высокосернистой нефти (ВСН) для компаундирования в поток сернистой нефти, обеспечение учета количества нефти, направляемой потребителю по общей магистрали, и количества подкачиваемой высокосернистой нефти, а также количества сбрасываемой высокосернистой нефти в резервуар.

Для формирования и доведения до требуемых значений параметров откачиваемой нефти, необходимо знать допустимые пропорции смешиваемых потоков нефти. Основным документом, классифицирующим нефть по ее физико-химическим свойствам, является ГОСТ Р 51858 [5].

Для проведения эксперимента нам понадобится отобрать пробы, из двух разных потоков нефти. Пробы отбираем в соответствии с ГОСТ 2517 [6]. Произведен отбор проб в соответствии с требованиями нормативной документацией. Далее был произведен разлив нефти по подготовленным стеклянным емкостям, в разных пропорциях.

Пробу разливаем в заранее подготовленные стеклянные бутылки, производим наполнение не более, чем на 90 % объема. Бутылки герметично закрываем винтовыми крышками, используя прокладки, которые не растворяются в нефти. Обертываем горловину бутылки полиэтиленовой пленкой, это необходимо для того, чтобы была обеспечена сохранность пробы. Приклеиваем этикетку, содержащую краткую информацию. Пробы нефти хранятся в помещении, которое отвечает противопожарным требованиям. Температура хранения проб не выше 20 °С.

Основным документом, регламентирующим порядок определения плотности, является ГОСТ 3900-85. В соответствии с нормативной документацией необходимо произвести перевод измеренной плотности к плотности при 15[°С] и 20[°С].

В табличном редакторе Microsoft Excel к полученным данным добавляем линию тренда – график аппроксимирующей функции. Он нужен для составления прогнозов, на основе статистических данных. Так же получаем уравнение, описывающее характер изменения плотности от содержания в смеси (откачиваемой нефти) доли НКК нефти.

На рисунке 1 и рисунке 2 представлены графики зависимости изменения плотности при 20 °С и при 15 °С соответственно.

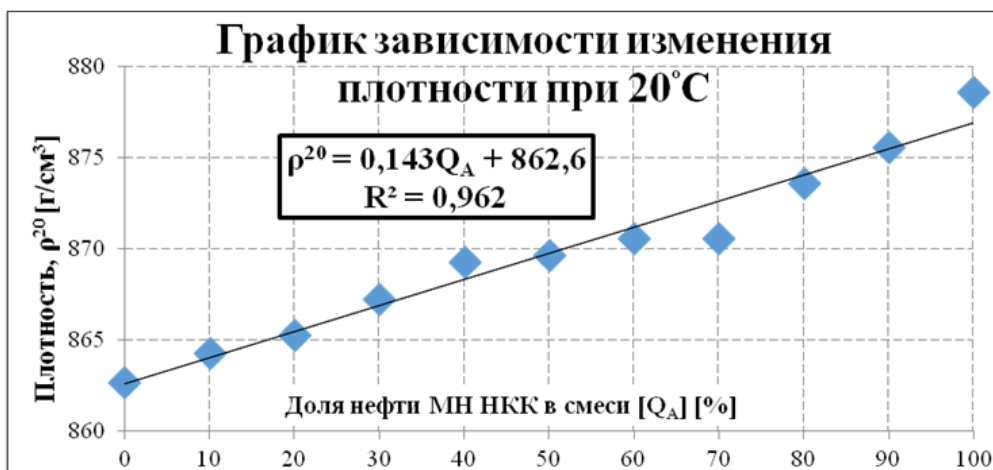


Рисунок 1. График зависимости изменения плотности при 20°C

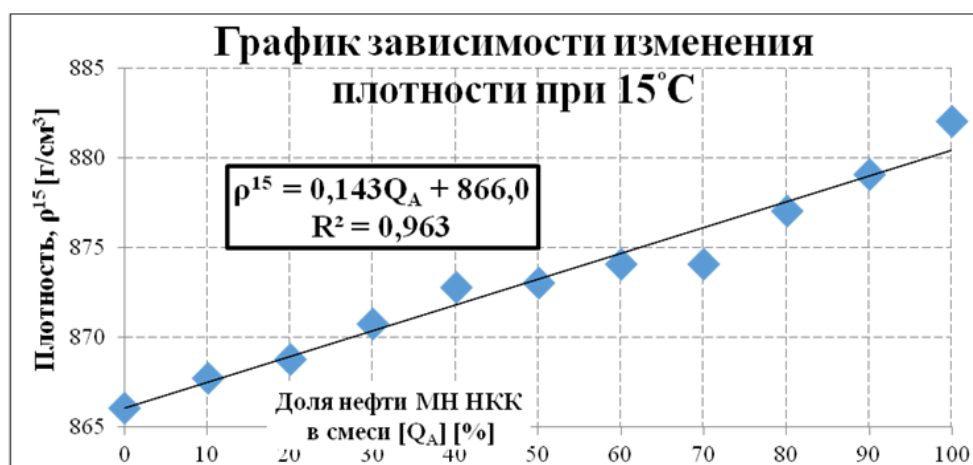


Рисунок 2. График зависимости изменения плотности

Основным документом, регламентирующем порядок определения серы в нефти, является ГОСТ Р 51947 [5].

На рисунке 3 представлен график изменения содержания серы.

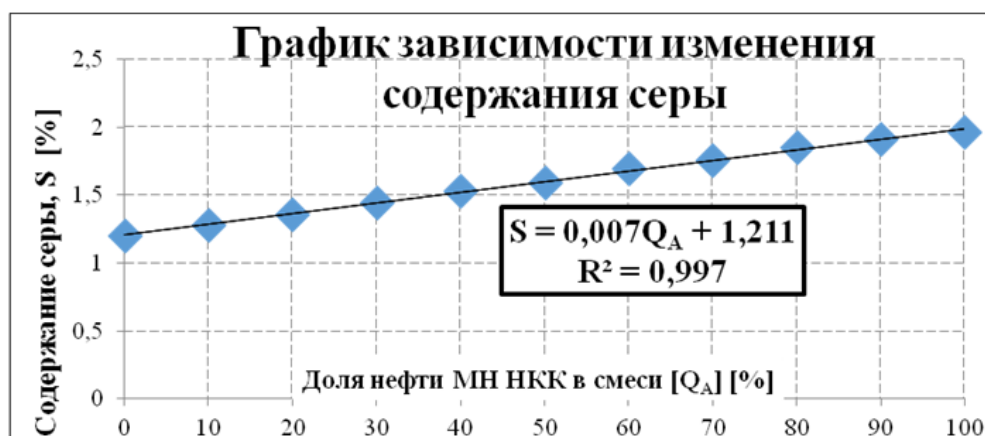


Рисунок 3. График зависимости изменения содержания серы

Основным документом, регламентирующим порядок определения содержания воды в нефти, является ГОСТ 2477[5].

Для наглядности построим график, описывающий характер изменения содержания воды в смеси, в зависимости от содержания доли нефти МН НКК. Результаты представлены на рисунке 4.



Рисунок 4. График зависимости изменения содержания воды

Представлены модели, описывающие зависимость изменения плотности, серы, воды от процентного содержания нефти в смеси. Для того, чтобы подтвердить зависимость, прибегнем к регрессионному анализу.

Аналізу подвергаем только экспериментальные данные изменения плотности при 20°C и изменения содержания серы, представленные на рисунке 1 и рисунке 2, соответственно, так как по содержанию воды, хлористых солей, хлороорганических соединений нефть соответствует требованиям руководящих документов и договорным обязательствам по транспортировке.

Таблица 1. Нормированное значение физико-химических свойств нефти

Наименование параметра физико-химического свойства нефти	МН НКК
Плотность нефти при t=20°C, кг/м ³	не более 870
Содержание серы в нефти, %	не более 1,5
Содержание воды в нефти, %	не более 0,5
Содержание хлористых солей в нефти, мг/дм ³	не более 100

Подставив эти критические значения, получаем уравнение вида:

$$870 = 0,143Q_A + 862,6$$

$$1,5 = 0,007Q_A + 1,211$$

Приступаем к решению каждого из них и получаем, что согласно уравнению, описывающее изменение плотности при 20°C, оптимальная доля нефти МН НКК в смеси составляет:

$$Q_A = 51,7 = 52 \%$$

Согласно уравнению, описывающее изменение содержания серы в нефти, оптимальная доля нефти МН НКК в смеси составляет:

$$Q_A = 41,28 = 41 \%$$

Проанализировав полученные значения, приходим к выводу, что общее оптимальное процентное содержание нефти МН НКК в смеси, при процессе компаундирования, с целью дальнейшей поставки, составляет 41 % и 59 % высокосернистой нефти.

Список литературы:

1. Доклад аналитической группы Института развития технологий ТЭК (ИРТТЭК) «Компаундирование нефти: российская и мировая практика»; опубл. 15.10.2019, [Электронный ресурс]. – URL:<https://irttek.ru/research>
2. /kompaundirovanie-nefti-rossiyskaya-i-mirovaya-praktika-.html(дата обращения: 25.12.2020)
3. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности
4. «Межгосударственный стандарт. Государственная система обеспечения единства измерений. Масса нефти и нефтепродуктов. Методики (методы) измерений», [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru>
5. /document/1200169617(дата обращения: 25.12.2020)
6. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 12.03.2013 № 101 Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности»
7. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 24.07.2013 № 328н Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок
8. Приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 15.03.2016 № 179 Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, выполняемых при учете используемых энергетических ресурсов, и обязательных метрологических требований к ним, в том числе показателей точности измерений
9. ТР ЕАЭС 045/2017 Технический регламент Евразийского экономического союза О безопасности нефти, подготовленной к транспортировке и (или) использованию
10. ГОСТ 12.4.124-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования
11. ГОСТ 34.003-90 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Термины и определения
12. ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий

Научный руководитель: д.т.н., профессор, М.Х. Хуснияров

НАЗИРОВА Т.Т

Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова

**АНАЛИЗ И ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ
ПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ НА АРДАЛИНСКОМ
НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕМ КОМПЛЕКСЕ**

NAZIROVA T.T

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

**ANALYSIS AND JUSTIFICATION OF METHODS OF CORROSION PROTECTION
OF INTER-FIELD PIPELINES AT THE ARDALINSK OIL AND GAS
PRODUCTION COMPLEX**

В работе на основании анализа методов защиты от коррозии выполнено обоснование способа защиты от коррозии промышленных трубопроводов путем санации, т.е. вставки трубы из полимеров в корродирующий участок трубопровода, тем самым обеспечивая экологическую и технологическую безопасность объектов нефтедобычи.

Актуальность исследования.

Технология санации промышленных трубопроводов успешно применяется в ряде стран, опыт которых доказывает возможность продления срока службы изношенной трубы до 50 лет.[1] Способ санации требует меньше времени и ресурсов. Стальная оболочка обеспечит прочность, а полиэтиленовый лайнер — коррозионную стойкость промышленным трубопроводам.

Цели и методы исследования.

Обосновать технологическую и экономическую эффективность вставки трубы из полимеров в изношенный трубопровод.

Методами является сбор, анализ материалов о коррозионных разрушениях на Ардалинском месторождении, а также обоснование эффективности вставки полимерных труб в основной стальной трубопровод.

Основная часть.

Магистральные нефтепроводы менее подвержены коррозии в отличие от промышленных нефтепроводов, транспортирующих жидкость в среде которой присутствуют коррозионно-активные компоненты (сероводород, углекислый газ и т.д.) [2]. В связи с этим, в 60% случаев причиной отказов на промышленных трубопроводах, являются коррозионные разрушения.[3] К распространенным способам защиты промышленных трубопроводов можно отнести физические и химические методы.

К физической защите относят применение коррозионно-стойких сплавов, применение защитных покрытий и электрохимическую защиту. К химической защите относят применение ингибиторов коррозии.[6]

Каждый из приведенных методов в той или иной степени доказывает свою эффективность, но нередко на технологических участках происходят утечки нефти. В результате чего, происходит нефтяное загрязнение окружающей среды, снижение добычи нефти, повышение затрат на капитальный ремонт трубопроводов и на природоохранные мероприятия.

Чаще всего на поздней стадии эксплуатации промышленных трубопроводов, когда обводненность добываемой нефти возрастает, используют ингибиторную защиту. Но

учитывая агрессивность среды и наличие в ней механических примесей ингибиторная защита не долговечна, и после истечения безопасного срока эксплуатации промышленные трубопроводы должны быть демонтированы и заменены на новые, что достаточно дорого и трудоемко.

Как альтернатива ингибированию или дополнение к нему, для защиты внутренней стенки сильно корродированных участков трубы от агрессивных сред, можно предложить санацию трубопровода т.е. восстановление поврежденного участка трубы путем вставки трубы из полимеров в корродирующий трубопровод. Данная технология уже была внедрена на Ем-Ёговском месторождении ОАО «ТНК-Нягань» в Западной Сибири. Месторождение располагается в болотистой местности, поэтому работы по санации выполнялись исключительно в зимнее время. Проект был признан успешным: он подтвердил высокую эффективность метода и возможность его применения даже в суровых условиях.[4]

Ардалинское месторождение, на котором рекомендуется апробировать использование данного метода расположено в Ненецком автономном округе, расположено на заболоченной местности Большеземельской тундры и имеет хрупкую экосистему.

Суть технологии заключается в следующем:

На ремонтируемом трубопроводе выделяют участок предварительно его очистив, трубу разрезают по концам выделенного участка. Неметаллический лайнер с помощью гидравлической лебедки протягивают через установку обжимных роликов (Rolldown) для того, чтобы временно уменьшить внешний диаметр, что позволит легко протолкнуть лайнер, несколько превышающий диаметр санируемой трубы, через стальную трубу гидравлической лебедкой. Установка имеющая обжимные ролики, снабжена резами, которые делают продольные борозды определенной глубины на лайнере. Борозды служат для выхода воздуха в период плотной посадки на стальную трубу. К концам участка санируемой трубы приваривают стальные фланцы.

Длину лайнера, который размещают в санируемом участке трубы, делают большей длины ремонтируемого участка (длина трубы с приваренными стальными фланцами). Неметаллический лайнер размещают внутри трубы таким образом, что с обоих концов трубы лайнер выступает наружу. После протяжки лайнер зажимают с двух концов трубы возле стальных фланцев с помощью хомутов. При этом с каждой стороны лайнера оставляют выступающими наружу хвостовики. Затем с двух концов полиэтиленового лайнера приваривают полиэтиленовые втулки и демонтируют хомуты.

Лайнер, материал которого имеет память формы, находясь в конкретных температурных условиях, уменьшается в длине и втягивается в санируемую трубу, до тех пор, пока полиэтиленовые втулки не сядут плотно на стальные фланцы санируемой трубы.

В процессе плотной посадки лайнера при его расширении внутри стальной трубы в зазоре между ними могут образоваться воздушные мешки. В связи с этим для удаления воздуха в межтрубном пространстве, а также при незначительной диффузии газа через материал лайнера из транспортируемой среды перед фланцевым соединением на стальной трубе на расстоянии 80-100 мм от края фланца устанавливают вентиляционный клапан для сброса газа или воздуха. Лайнер, плотно облекая внутренний диаметр металлической трубы, создает барьерную защиту от коррозии между стальной трубой и транспортируемой средой. После окончания работ по

санации трубопровода фланцы участков соединяют с помощью нержавеющей болтов и гидроизолируют.

Данный способ позволяет проводить работы при отрицательных температурах (до минус 40°С).[4]

Результаты и направления их использования.

Результатом является обоснование технологической и экономической эффективности использования полиэтиленовых лайнеров для ремонта и восстановления изношенных и аварийных участков промышленных трубопроводов в условиях отрицательных температур. В частности, на Крайнем Севере, на промышленных трубопроводах месторождений Ненецкого автономного округа.

Выводы и вклад автора.

Санация промышленных трубопроводов дает возможность в краткие сроки провести восстановление нефтепровода, продлить срок его службы и исключить затраты на внутреннюю защиту трубопровода от коррозии. При этом возможно увеличение проектной пропускной способности трубы после ее санирования до 10 %, из-за снижения гидравлического трения в неметаллическом лайнере по сравнению с трением в металлической трубе до ее санирования.[4] Также снижаются требования к диагностике санированного трубопровода по сравнению с несанированным. Уменьшение периодичности диагностирования приводит к сокращению эксплуатационных затрат, что особенно важно для холодных регионов, где стоимость подобных работ высока и проводить их возможно только в определенное время года.

Вкладом автора является анализ известных методов санации трубопроводов, проведение гидравлического расчета и расчета экономической эффективности восстанавливаемого участка трубопровода.

Список литературы:

1. Срок службы Primus Line® – Режим доступа: <https://www.primusline.com/ru/produkt/svoistva/srok-sluzhby> – дата обращения: 23.04.2022
2. Защита трубопроводов от коррозии: Том 2: Учеб. Пособие / Ф. М. Мустафин, Л. И. Быков, А.Г. Гумеров и др. – СПб.: ООО «Недра», 2007. – 708с., ил.
3. article – Режим доступа: <http://www.meridian-journal.ru/site/article?id=3084&pdf=1> – дата обращения: 25.04.2022
4. Вторая жизнь старых трубопроводов: санация методом внутритрубной протяжки полиэтиленового лайнера - 22 Августа 2016 - Нефтегазовые новости - Нефтяники.РФ – Режим доступа: <https://www.nftn.ru/blog/fitingi/2016-08-22-1871> – дата обращения: 26.04.2022
5. RU2714021C2 – Способ бестраншейной санации изношенных трубопроводов – Яндекс.Патенты – Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/RU2714021C2_20200211 – дата обращения: 26.04.2022
6. Промысловые трубопроводы и оборудование: Учеб. Пособие / Ф. М. Мустафин, Л. И. Быков, А.Г. Гумеров и др. – М.: ОАО Издательство «Недра», 2004. - 662 с.: ил.

Научный руководитель: д. г.-м. наук, профессор М.Г. Губайдуллин

**ОПТИМИЗАЦИЯ БЕЗОПАСНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПО
ПРОИЗВОДСТВУ И ХРАНЕНИЮ СПГ**

NAFI M.R.
Saint Petersburg Mining University

**OPTIMIZING THE SAFE LOCATION OF LNG PRODUCTION AND STORAGE
EQUIPMENT**

В последнее десятилетие большинство из аварий в нефтегазовой промышленности (около 95 %) связано со взрывами: 54% в аппаратуре, 46% в производственных зданиях и на открытых технологических площадках. Статистика чрезвычайных ситуаций за 2012-2016 года показывает, что из общего количества взрывов в 42,5% случаев происходят взрывы сжиженных углеводородных газов. [1] Аварии в газоперерабатывающей промышленности являются следствием несовершенства отдельных технических средств, недостатков проектов, ошибочных действий персонала. В работе [2] представлены результаты статистической обработки данных об авариях, которые получили развитие с «эффектом домино». Специалистами исследована зависимость между частотой аварий с «эффектом домино» и видом опасного вещества. Можно сделать вывод, что аварии развиваются с «эффектом домино» чаще всего на складах ЛВЖ и СУГ (58-79 %).

Сжиженные газы получают из попутного нефтяного газа, который добывается на нефтяных месторождениях вместе с нефтью. При больших масштабах производства и переработки углеводородного сырья возрастают вероятность и степень опасности взрывов и пожаров. [2] Пары сжиженных углеводородных газов обладают значительной упругостью (давлением), которая возрастает с повышением температуры.

Очень часто при ликвидации аварий затруднен подъезд к зоне пожара из-за компактного расположения технологического оборудования и установок. Поэтому при тушении имеет место несимметричное распределение тепловых нагрузок на оборудование и сооружения. Следствием этого являются деформации элементов конструкций, разгерметизация технологической обвязки и дальнейшее развитие аварии.

Целью работы являлась разработка научно-методических основ безопасного и рационального расположения оборудования на газоперерабатывающих предприятиях.

Для достижения данной цели необходимо расположить оборудование таким образом, чтобы соседнее оборудование, не находилось в зоне критических разрушений.

Были определены размеры зон, ограниченные нижним концентрационным пределом распространения (НКПР) газов на примере газофракционирующей установки с пропаном. Для горючих газов геометрически зона, ограниченная НКПР газов, представляет собой цилиндр с основанием радиусом R_6 и высотой $h_6 = 2R_6$, при $R_6 \ll h$

и $h_6 = h + R_6$ при $R_6 > h$. Для рассмотренного случая были определены следующие параметры: $R_6 = 116$ м, $h_6 = 118$ м.

Было определено, что реакция элемента на ударную волну выражается в виде деформации конструкций. Значительные остаточные деформации приводят к полному или частичному разрушению объекта.

Безопасные расстояния для всех аппаратов друг от друга определяется из условия, что расстояние между объектами должно быть больше минимального расстояния между объектами. Для оценки уровня воздействия взрыва может применяться тротильный эквивалент W . Тротильный эквивалент взрыва парогазовой среды W (кг), определяемый по условиям адекватности характера и степени разрушения при взрывах парогазовых облаков рассчитывается по формуле:

$$W = \frac{0,4q'}{0,9q_T} zm = \frac{0,4 Ez}{0,9q_T} \quad (1)$$

где 0,4 - доля энергии взрыва парогазовой среды, затрачиваемая непосредственно на формирование ударной волны;

0,9 - доля энергии взрыва тринитротолуола (ТНТ), затрачиваемая непосредственно на формирование ударной волны;

z - доля массы парогазовых веществ, участвующих во взрыве, для неорганизованных парогазовых облаков в незамкнутом пространстве принимается равным 0,1;

q' - удельная теплота сгорания парогазовой среды, кДж/кг;

q_T - удельная энергия взрыва ТНТ, кДж/кг;

Безопасные расстояния для всех аппаратов друг от друга R_{ij}^0 определяется по формуле:

$$R_{ij}^0 = \max \left\{ K_j^0 \frac{\sqrt[3]{W_i}}{\left[1 + \left(\frac{3180}{W_i} \right)^2 \right]^{1/6}} + r_j; K_i^0 \frac{\sqrt[3]{W_j}}{\left[1 + \left(\frac{3180}{W_j} \right)^2 \right]^{1/6}} + r_i \right\} \quad (2)$$

где: $i = 1, n-1; j = i, n$; r_i, r_j – радиусы проекций на земную поверхность i -го и j -го аппаратов;

$K_j^0; K_i^0$ - безопасные расстояния между аппаратами при воздействии i -го аппарата на j -ый и j -го аппарата на i -ый соответственно.

Под оптимизацией расположения аппаратов понимается минимизация целевой функция F при наличии ограничений в виде неравенств S_k и равенств Seq_k .

Ограничения в виде неравенств представляют собой условие того, что расстояние между i -ым и j -ым аппаратами должно быть больше R_{ijmin} :

$$S_k = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} > R_{ij}^{\min}, i = 1, n; j = 1, n; i <> j; k = 1, m \quad (3)$$

где x_i, x_j, y_i, y_j – координаты аппаратов; n – число аппаратов; m – число неравенств.

Ограничения в виде равенств применяются в том случае, если необходимо зафиксировать расстояние $R_{ij} = \text{const}$ между i -ым и j -ым аппаратами:

$$Ceq_k = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} = R_{ij}, i = 1, n; j = 1, n; i < j; k = 1, s$$

где s – число равенств. (4)

При использовании ограничений в виде неравенств совместно с ограничениями в виде равенств необходимо аппараты, участвующие в Ceq_k , исключить из участия в Sk .

Для оптимизации расположения аппаратов, необходимо вычислить сумму расстояний между всеми аппаратами с учетом веса связи (ε) и числом аппаратов (n) по формуле:

$$F = \sum_{i=1; j=i+1}^{n-1; n} (L_{ij} + \varepsilon) \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$
 (5)

В результате расчетов возможно получение оптимизированного плана расположения оборудования на конкретном предприятии. Также в дальнейшем предполагается написание методики расчета параметров оптимизации расположения объектов на предприятиях отрасли.

Выводы:

Сформулирована задача оптимизации безопасного расположения технологического оборудования с учетом технологических связей, показателей опасности и устойчивости к воздействию поражающих факторов. Результатом является оптимизированный план расположения оборудования.

Определены методы расчета значений параметров ударной волны на объекты различной формы. Определены критерии безопасного расположения объектов на газоперерабатывающих предприятиях.

Список литературы:

1. М.В. Бесчастнов, В.М. Соколов. Предупреждение аварий в химических производствах. – М.: Химия, 1979.-392с.
2. Н.И. Азаров, Анализ возможности каскадного развития аварий на взрывопожароопасных объектах/ Н.И.Азаров,О.В.Давидюк,Н.В.Кошовец,М.В.Лисанов //Безопасность труда в промышленности.-2007.-№5.-С.42-47.
3. Болодьян, И.А. Пожаровзрывобезопасность объектов хранения сжиженного природного газа. Анализ состояния проблемы / И.А.Болодьян,В.П.Молчанов, Ю.И.Дешевых и др. // Пожарная безопасность, 2000.- №2.-С.86-93;
4. Тляшева Р.Р., Идрисов В.Р., Решетников Ф.Ф. Метод оценки зон опасностей оборудования установок предприятий нефтегазопереработки с учетом технологических трубопроводов / Р.Р. Тляшева, В.Р. Идрисов, Ф.Ф. Решетников // Нефтегазовое дело. – 2007. - том 5, №2. – С.151-155.

Научный руководитель: д.т.н., профессор А.М. Щипачев

ПАЛАЕВ А.Г., КРАСНИКОВ А.А.
Санкт-Петербургский горный университет

**ИССЛЕДОВАНИЕ СНИЖЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ СВАРОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ
В РЕЗУЛЬТАТЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ СВАРНОГО
СОЕДИНЕНИЯ НА ЧАСТОТЕ 20КГц, 37 КГц И 44КГц**

PALAEV A.G., KRASNIKOV A.A.
Saint Petersburg Mining University

**INVESTIGATION OF REDUCTION OF RESIDUAL WELDING STRESSES AS A
RESULT OF ULTRASONIC TREATMENT OF A WELDED JOINT AT A
FREQUENCY OF 20 KHZ, 37 KHZ AND 44 KHZ**

В настоящее время сварка является одним из самых [1,2] распространённых методов соединения трубопровода. Такой способ соединения трубопроводов имеет недостатки, один из которых возникновение НДС в зоне сварного соединения после охлаждения. В данной работе представлено исследование по снижению НДС в результате ультразвуковой обработки сварного соединения с использованием разных частот [3]. Значимость данного исследования заключается в использовании ультразвуковой обработки зоны сварного соединения для НДС [4,5].

В работе авторами, исследовано влияние ультразвуковой обработки на перераспределение НДС на образцах из стали Ст20 в зоне сварного шва. Выбранная марка стали применяется при сооружении магистральных трубопроводов.

В результате ультразвуковой обработки, зоны сварного соединения трубной стали марки Ст20 с применением различных частот, было получено следующее:

При обработке ультразвуком на частоте 20 кГц зоны сварного соединения образца (а), снижение НДС составило примерно 35 %.

При обработке ультразвуком на частоте 37 кГц зоны сварного соединения образца (б), снижение НДС составило примерно 31 %.

При обработке ультразвуком на частоте 44 кГц зоны сварного соединения образца (в), снижение НДС составило примерно 25 %.

Исследование показало, что при обработке ультразвуком частотой 20кГц наблюдается наибольшее снижение НДС. Авторы полагают, что в результате ультразвуковой обработки сварного шва других марок сталей результаты снижения НДС могут быть немного другими. Для более детального изучения процессов, происходящих в зоне сварного шва при ультразвуковой обработке в дальнейшем необходимо провести обработку образцов из других марок стали.

Возможности технического применения ультразвуковых колебаний для снижения НДС очевидны. Однако физические процессы и механизм некоторых явлений ультразвуковой обработки еще недостаточно изучены ввиду небольшого количества исследований в этой области.

Результаты проведенных работ показали возможность и перспективность использования в промышленности метода ультразвуковой обработки сварного шва для снижения НДС, а также формирования необходимых напряжений, для повышения эксплуатационных характеристик оборудования, объектов.

Список литературы:

1. Замбрано Дж. Оценка риска аварий, обусловленных природным фактором, на магистральном нефтепроводе Pascuales – Суенса (Эквадор) / Дж. Замбрано, С.В.Ковшов, Е.А.Любин // Записки Горного института. 2018. Т.230. С.190-196. DOI:10.25515/PMI.2018.2.190.
2. Л.А. Голдобиина, П.С. Орлов, 2016. Анализ причин коррозионных разрушений подземных трубопроводов и новые решения повышения стойкости стали к коррозии. Записки Горного института, Т(219): 459-464. DOI 10.18454/PMI.2016.3.459.
3. Щипачев А.М. Влияние послесварочной обработки на скорость сплошной коррозии и микроструктуру сварных соединений сталей 20 и 30ХГСА / А.М.Щипачев, С.В.Горбачев // Записки Горного института. 2018. Т.231. С. 307-311 DOI: 10.25515/PMI.2018.3.307.
4. Alian, A.R.; Shazly, M.; Megahed, M.M. 3D finite element modeling of in-service sleeve repair welding of gas pipelines. Int. J. Press. Vessel. Pip. 2016, 146, 216–229. DOI:10.1016/j.ijpvp.2016.09.002.
5. Antonov A.A. Steklov, O.I. Investigation of technological residual stresses in welded joints of trunk pipelines // Procurement production in mechanical engineering. -2012. - No. 3. - pp. 13-19, DOI:10.1016/j.prostr.2019.12.136.

Научный руководитель: к.т.н., доцент А.Г. Палаев

ПЛОТНИКОВА К.И., ЗАЙКА Е.А., ДЕМЕНИН Е.С.
Санкт-Петербургский горный университет

ТРУБОПРОВОДНЫЙ ТРАНСПОРТ БИТУМИОЗНЫХ И ВЫСОКОВЯЗКИХ НЕФТЕЙ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ИХ ОБРАБОТКИ

PLOTNIKOVA K. I., ZAIKA E.A., DEMENIN E.S.
Saint Petersburg Mining University

PIPELINE TRANSPORT OF BITUMIOUS AND HIGH-VISCOSITY OILS AND COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THEIR TREATMENT METHODS

В настоящее время доля высоковязкой нефти в общем объеме ее добычи возрастает. На высоковязкую нефть приходится две трети от общих мировых запасов нефти. Основные проблемы транспорта неньютоновской нефти связаны, прежде всего, с особенностями ее реологических характеристик. В настоящее время транспорт высоковязкой нефти является актуальной проблемой, так как каждое месторождение имеет нефть с уникальными реологическими характеристиками и невозможно создать единую методику, которая будет применима ко всем месторождениям.

Исходя из анализа методов транспортировки высоковязких нефтей, можно выделить следующие наиболее распространенные методы: нагрев, разбавление, эмульгирование, гидротранспорт, применение противотурбулентных присадок. В работе проведен сравнительный анализ применения данных методов для нефтей с различными

реологическими характеристиками. Для расчета рассмотрен горизонтальный участок с одинаковым напором в начале и конце участка трубопровода, что не влияет на репрезентативность сравнения методов (разница напоров, геодезических отметок влияет лишь на величину общего перепада давления, который в рассматриваемых примерах постоянен при сравнении различных методов). В качестве испытательного трубопровода выбран нефтепровод, обладающий следующими характеристиками: длина трубопровода – 150 км, диаметр трубопровода – 820 мм; перепад давления – 100 кг/см². Исследования проводились на нефтях, которые имеют следующие характеристики: плотность 1002 кг/м³, вязкость 100 000 сСт; плотность 916,4 кг/м³, вязкость 10 000 сСт; плотность 850 кг/м³, вязкость 135 сСт.

Результаты исследования оценивались по показателю снижения вязкости каждой из нефтей при применении специальных методов транспортировки и по показателю увеличения производительности трубопровода.

Результаты работы по увеличению производительности трубопроводов при применении основных методов транспорта высоковязкой нефти показали, что методы, которые показывают наибольший эффект на высоковязких нефтях №1 и №2 становятся неэффективными на нефти №3. При этом на нефти №2 появляются новые способы воздействия – например, применение противотурбулентных присадок. Сравнительная характеристика эффективности применения различных методов для рассматриваемых типов нефтей №1, 2 и 3 представлена на рисунке 1.

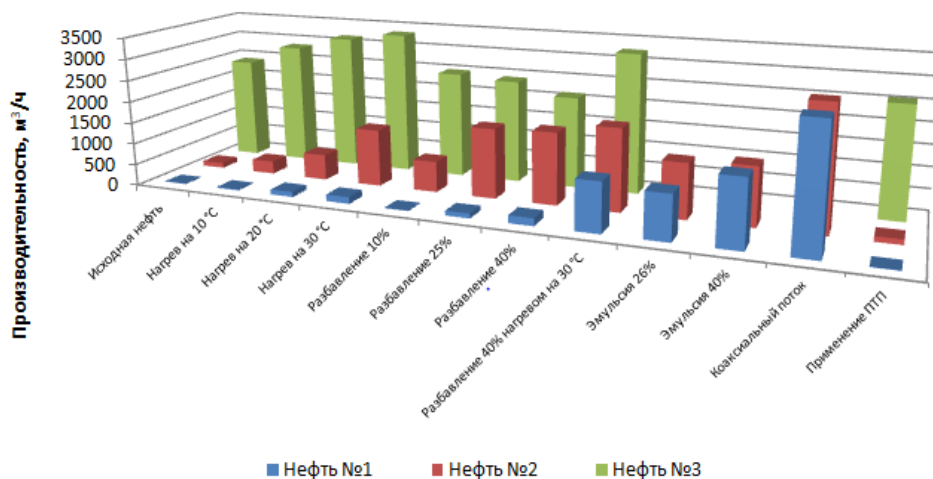


Рисунок 1. Производительность нефтепровода при использовании различных методов транспортировки нефтей № 1, 2 и 3

В результате исследований получено, что для вязких нефтей аналогичных нефти №1 эффективность нагрева либо разбавления недостаточна для их транспортировки трубопроводным транспортом или транспортировка указанных нефтей путем создания эмульсий, либо совместного применения разбавления и нагрева. Для нефтей аналогичных нефти №2 эффективность применения эмульсификации становится сопоставима с эффективностью разбавления или нагрева, метод определяется технико-экономическим расчетом. Для нефтей аналогичных нефти №3 относительный эффект от применения различных методов обработки нефти наименьший. Также в работе представлены результаты технико-экономического обоснования, показывающие рациональность применения данных методов обработки высоковязких нефтей для нефтей с определенными реологическими характеристиками.

Таким образом, можно сделать вывод, что определение метода транспортировки неньютоновских жидкостей зависит, прежде всего, от реологических характеристик нефти.

Список литературы:

1. Nikolaev A. K., Dokukin V. P., Fetisov V. G., Lykov Y. V. Research of processes of heat exchange in horizontal pipeline / IOP: Earth and Environmental Science, № 88, V 88, 2018. С 1 – 6.
2. Голунов Н.Н. Уменьшение смеси нефтепродуктов при последовательной перекачке // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов, 2018, Т.8 №1 с. 68-73.
3. Муратова В.И. Оценка влияния противотурбулентных присадок на гидравлическую эффективность нефтепродуктов // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, УГТУ, Уфа, 2014, с. 149.
4. Лурье М.В. Теоретические основы трубопроводного транспорта нефти, нефтепродуктов и газа. М.: Изд. Дом «Недра», 2017. с. 476.
5. Прохоров А.А. Выбор оптимальных параметров эксплуатации магистральных нефте- и нефтепродуктопроводов при использовании противотурбулентных присадок: дисс. канд. техн. наук: 25.00.19, М., 2006 с.141.

Научный руководитель: д.т.н., профессор А.К. Николаев

САВЕЛЬЕВА В.О.

Полоцкий государственный университет

**О ПЕРСПЕКТИВАХ ПРИМЕНЕНИЯ АДАПТИВНЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
БИОМИМИКРИИ В МАГИСТРАЛЬНОМ ТРУБОПРОВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ**

SAVELYEVA V.O.

Polotsk State University

**ABOUT THE PROSPECTS OF USING ADAPTIVE NATURAL BIOMIMICRY
TECHNOLOGIES IN MAIN PIPELINE TRANSPORT**

Важнейшим элементом топливно–энергетического комплекса являются системы энергокоммуникаций, в частности, предназначенные для транспортирования жидких и газообразных углеводородных энергоносителей – магистральный трубопроводный транспорт. Задачи повышения надежности, срока службы и эффективности функционирования магистральных трубопроводов актуальны в настоящее время. На магистральный трубопроводный транспорт приходится более 4% от общего мирового потребления энергии при транспортировке, что обусловлено высокими энергозатратами насосного оборудования, на долю которого по оценкам экспертов приходится до 20% мирового потребления электроэнергии. Согласно статистике по энергопотреблению, оно находится на третьем месте после городского транспорта и освещения, что является существенной проблемой, поэтому повышение энергетической эффективности при эксплуатации объектов магистрального трубопроводного транспорта является одной из актуальнейших задач современной инженерной науки.

Важная проблема снижения гидравлических потерь в трубопроводном транспорте с существующими методами, практическое использование которых позволяет сократить затраты энергии на транспортировку, может быть рассмотрена с учетом нового направления, содержащим новаторский взгляд на альтернативные подходы решения технических задач. Таким направлением является биомимикрия, использующая передовые технологии и достижения эволюционных механизмов природы для решения актуальных проблем.

Биомимикрия представляет собой область знаний, вытекающих из практики, подражая стратегиям природы, создавшей адаптивные механизмы для поиска устойчивых решений проблем. Учёными было проанализировано достаточно большое количество материала для перспективного применения некоторых теорий к таким системам как самолеты, подводные аппараты, надводные корабли, поезда, в том числе и трубопроводы. При анализе подходов биомимикрии наше внимание было уделено области применения в магистральном трубопроводном транспорте.

Цель исследования заключается в снижении гидравлического сопротивления при транспортировании жидких углеводородов в системе магистральных трубопроводов, что позволит уменьшить энергетические затраты при эксплуатации. Метод исследования заключается в обзоре и анализе существующих природных технологий биомимикрии с выбором наиболее подходящих для применения в магистральном трубопроводном транспорте.

Обзор природных технологий показал, что некоторые из них могут быть применимы как к площадочным, так и к линейным объектам трубопроводного транспорта. Так, для снижения гидравлических потерь в стальных трубопроводах можно применять гладкостные антифрикционные покрытия, закручивание потока с помощью изменения геометрии внутренних полимерных поверхностей, пластинчатое внутреннее полимерное покрытие, микропузырьковую кавитацию в пристенном слое нефтепродукта, а в магистральном насосном оборудовании – вырезы на лопатках рабочего колеса и внутренней поверхности корпуса насоса, а также дополнительную конструкцию, направляющую перекачиваемый поток от центра к периферии рабочего колеса.

Наибольшее внимание в работе было уделено применению гладкостных антифрикционных покрытий, как одному из самых простых технических мероприятий, которое можно реализовать на практике. Выбрана природная технология для линейной части магистрального трубопроводного транспорта, а именно использование гладкостных антифрикционных покрытий на линейной части трубопроводного транспорта. Далее выполнялся расчёт гидравлической эффективности от применения гладкостного покрытия на примере проектируемого на основании документа межправительственного соглашения об организации сотрудничества в области перевозки и перевалки белорусских нефтепродуктов, поставляемых на экспорт, магистрального нефтепродуктопровода, перекачивающего дизельное топливо. Протяжённость проектируемого трубопровода Дисна–Санкт–Петербург составляет 470 км, внутренний диаметр 500 мм. В ходе расчёта рассматривалось два случая: с внутренним полимерным антифрикционным покрытием внутренней поверхности, имеющей коэффициент абсолютной шероховатости равный 0,015 мм, и без внутреннего специального покрытия поверхности, имеющий коэффициент абсолютной шероховатости равный 0,15 мм. В результате расчёта выявлена целесообразность применения покрытия при транспортировании дизельного топлива в сравнении с нефтью и бензинами.

Так, при помощи вывода формулы процентного изменения гидравлического сопротивления с применением гладкостного покрытия, для бензина различных сортов,

таких как бензин–98, бензин–95 и бензин–92 и их различной кинематической вязкости 0,5 сСт, 0,6 сСт и 0,7 сСт соответственно, без перехода в иной режим перекачки, но с десятикратным уменьшением шероховатости поверхности, установлено, что при применении антифрикционного внутреннего покрытия трубопровода возможно снижение гидравлического сопротивления до 36,5% в зависимости от вязкости перекачиваемой жидкости.

В случае перекачивания дизельного топлива различных сортов, таких как летнее, зимнее и арктическое и их различной кинематической вязкости 6 сСт, 5 сСт и 4 сСт соответственно, характерны различные критические скорости перекачки при которых с применением гладкостного покрытия будет происходить изменение режима перекачки дизельного топлива, которые равны 3 м/с, 2,5 м/с и 2 м/с соответственно. На основании расчёта и вывода формулы по процентному снижению гидравлического сопротивления, можно сделать вывод о том, что при применении антифрикционного внутреннего покрытия трубопровода возможно снижение гидравлического сопротивления до 20% в зависимости от скорости перекачиваемой жидкости.

Также установлено, что при реализации нанесения гладкостного антифрикционного покрытия, имеющего уменьшенную абсолютную шероховатость поверхности по отношению к исходной абсолютной шероховатости внутренней поверхности стальной трубы, произойдёт смещение переходных значений числа Рейнольдса перекачиваемой жидкости, тогда как фактическое значение числа Рейнольдса останется неизменным при постоянной скорости. В соответствии с практикой эксплуатации нефтепроводов перекачка нефти средней вязкости происходит в режиме гидравлически гладких труб и режим течения вне зависимости от значения коэффициента абсолютной шероховатости останется в области гидравлически гладких труб. По этой причине использование гладкостного антифрикционного полимерного покрытия в нефтепроводах не приведет к изменению коэффициента гидравлического трения и не принесет желаемого эффекта сокращения гидравлического сопротивления.

Для подтверждения положительного экономического эффекта был проведен расчёт сокращения энергетических затрат от применения антифрикционного покрытия.

В дальнейшем предполагается внести рекомендации в технические нормативные правовые акты по использованию антифрикционных покрытий при проектировании магистральных нефтепродуктопроводов, а также продолжить исследование природной технологий закручивания потока жидкого энергоносителя посредством изменения геометрических характеристик внутреннего полимерного покрытия трубопровода с построением оптимальной модели в специализированном компьютерном комплексе.

Список литературы:

1. Official website of the American Institute of Biomimicry [Electronic resource] / Institute of Biomimicry. — Mode of access: <https://biomimicry.org/biomimicry-examples/>. — Date of access: 05.04.2021
2. В.Шаубергер. Энергия воды. – М.: Яуза–Эксмо, 2007
3. Потери напора по длине в винтовом цилиндрическом потоке (область низких закруток): автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук – Харьков Н.С. – Санкт–Петербург, 2010
4. Теория гидродинамики жидкостей [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.aquaristics.ru/pond/aqua/teoriya-gidrodinamiki-zhidkostey> – Дата доступа: 12.10.2021

Научный руководитель: м.т.н., старший преподаватель А.Н. Воронин

СОХЕТИЕ А.

Венгерский университет естественных наук и сельского хозяйства

**ТРУБОПРОВОДНЫЙ ТРАНСПОРТ В ЮЖНОЙ АФРИКЕ В 21 ВЕКЕ (ВЗГЛЯД
НА ТРУБОПРОВОДНЫЙ ТРАНСПОРТ ЮЖНОЙ АФРИКИ)**

SOKHETYE A.

Hungarian University of Life Science and Agriculture

**PIPELINE TRANSPORTATION IN SOUTH AFRICA IN THE 21ST CENTUARY (A
LOOK INTO SOUTH AFRICA'S PIPELINE TRANSPORTATION)**

Pipeline transportation:

The paper analyses the challenges of pipeline transportation in South Africa in the 21st century. (Ndlala, 2022) states that South Africa's critical pipeline transportation custodian now serves two main sectors (fuel and gas) by carrying petroleum and gas goods over varied distances, a yearly average throughput of 16 billion liters of liquid fuel and about 450 million cubic meters of gases is handled by the industry sector. Crude oil, diesel, leaded and unleaded gasoline, and aviation turbine fuels are among the liquid products.

Pipeline transportation is a mode of transport that involves the conveyance of solid, liquid, or gaseous materials over vast distances using pipes. This mode of transport is mostly utilized to deliver crude and refined petroleum products like oil and natural gas.

(news, 2022) state that in today's modern society in South Africa the pipeline transports liquids across the country's provinces, including KwaZulu-Natal, the Free State, Gauteng, the North West, and Mpumalanga, the gas pipeline, which was originally used for liquids, travels through a number of minor towns throughout the country, the pressure in the pipeline network is monitored 24 hours a day, yet there are issues with pipeline transportation that affect the overall efficiency levels of liquid and gas transportation, Because some pipes are built on the ground, they are vulnerable to vandalism, making it easier to do damage to the pipeline. The cost of guarding pipes for vandalism is extremely significant. Pipe raiders typically break into pipelines to steal the commodities. Pipeline damage is difficult to detect. If there is a leak or damage to a pipeline carrying hazardous goods, it can be detrimental to the environment.

(news, 2022) further suggests looking into challenges of pipeline transport is necessary because it has significant advantages such as It does not require frequent maintenance or overhead after it is constructed. Pipelines provide a safer way to transport hazardous products to destinations where they are needed. Pipeline transportation is economical. Pipeline transportation, unlike vehicle transit, does not necessitate extensive loading and unloading preparation. It also improves the environment by lowering carbon emissions.

One major challenge in the pipeline transportation industry in South Africa is theft where there is a massive spill of diesel when criminals damaged the block valve chamber, spilling thousands of liters, using a fuel tanker, criminals jack up the concrete cover of the

block valve and insert wooden stents to connect a pipe to the valve. Because it's a high-pressure pipeline, this interrupts the supply chain of the pipeline transportation and causes damage which is detrimental to the environment and nearby communities although there are 24-hour pipeline network monitored theft still occurs, preventative measures in place such as containment and recovery of the product after which rehabilitation begins. (Energy, 2021)

(point, 2018) notes that it is not a hyperbole to state that the pipeline is constantly under attack by criminals. Three attacks on the Pipelines' infrastructure have occurred in quick succession. The pipeline is considered critical infrastructure for the country's economy

According to (point, 2018) the existing pipeline infrastructure could be too old or too small to accommodate a given actual production capacity. This could be because the capacity is greatly underestimated, or because new drilling methods have opened the possibility of reaching oil and gas previously unreachable.

The pipes themselves are also carefully maintained and safeguarded, thanks to the efforts of the industry sector. There are programs in place that monitor any stray currents to avoid corrosion, in addition to covering the pipeline to the level of cathodic protection. Unauthorized third-party actions, encroachments, and attempted pilferage continue to pose the greatest threat. Although gas theft remains a serious issue and concern to the sector, events do occur, and the track record to far has been exceptional. There is an emergency response strategy in place to respond to any occurrence. (Energy, 2021)

Pipeline transportation differs depending on the political jurisdiction, which ranges from municipalities to counties to states. This is primarily a source of concern since each of these jurisdictions will have its own set of building codes and regulations that must be followed to construct in that jurisdiction. This significantly complicates the construction process, as failure to account for even one of these divergent sets of standards can result in significant project delays. To ensure that geopolitical difficulties do not hinder the pipeline transportation it is necessary to get approvals as soon as possible and engage with a consultant ant who is familiar with the local legislation, Pipeline transportation must be able to expand on existing infrastructure, expanding around, and replacing existing pipes as needed. (point, 2018).

List of references:

1. Energy, o. a. g., 2021. Transnet pipelines. The safety of Transnet pipelines.
2. Ndlala, C., 2022. Transportation of gases and liquids through pipeline in South Africa. Effecincies of pipeline transportation .
3. news, B., 2022. Attacks on pipeline transportation. preventative measures.
4. point, L., 2018. Challenges in pipeline transportation.

Supervisor of studies: MSc Business Development, Professor, Andrea Benedict

СТРЕЛЬЧЕНКО К.А.

Санкт-Петербургский горный университет

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИИ УТЕЧЕК ГАЗА НА ГАЗОПРОВОДАХ

STRELCHENKO K.A.

Saint Petersburg Mining University

AN ANALYSIS OF GAS LEAK DETECTION AND LOCALIZATION METHODS ON GAS PIPELINES

В работе представлен анализ методов обнаружения и локализации утечек газа на газопроводах, виды их классификаций, а также преимущества и недостатки методов.

При строительстве газопровода важно, чтобы трубы оставались целыми в течение долгого времени. Дефекты на газопроводах появляются в результате коррозии и, реже, из-за механических повреждений. Эти дефекты могут привести к разгерметизации участка газопровода, что, в свою очередь, может привести к серьезным инцидентам, приводящим как к человеческим травмам, так и значительным выбросам углеводородов в атмосферу. Вскрытие газопровода для его непосредственного визуального обследования экономически невыгодно или невозможно. Обследование лишь наружной поверхности трубы обычно не дает желаемых результатов. Поэтому актуальным является мониторинг состояния подземных и надземных газопроводов без их вскрытия. Решение этой задачи осложняется значительными техническими трудностями, однако современные методы и средства измерительной техники позволяют их преодолеть.

Основная цель данной работы - определение состояния методов обнаружения и локализации утечек, а также оценка возможностей данных методов для того, чтобы определить преимущества и недостатки использования каждого решения для обнаружения утечек. Для этого был проведен обзор литературы и изучены последние достижения в области обнаружения утечек в газопроводах.

Методы обнаружения утечек газа различаются по следующим признакам и параметрам: по степени необходимого вмешательства человека, по измеряемой физической величине и техническом характере методов [9]. Кроме того, существующие методы обнаружения утечек можно классифицировать по ряду таких признаков, как конструктивное исполнение, характер взаимодействия с перекачиваемой средой, в зависимости от физического метода, режима работы трубопровода и периодичности контроля [6].

Однако наиболее распространенный способ классификации методов обнаружения утечек основан на их техническом характере. Таким образом, можно выделить две основные категории методов: аппаратные и программные методы. Эти две категории иногда упоминаются как внешние и внутренние или вычислительные методы обнаружения утечек. В некоторой литературе представлена отдельная третья категория, в которую входят так называемые биологические методы [9].

Аппаратные методы основаны в основном на использовании специальных чувствительных устройств для обнаружения утечек газа. Данные методы могут включать такие подходы к обнаружению утечек, как акустическое, волоконно-оптическое и емкостное зондирование, применение акселерометра, инфракрасной томографии и флуоресценции, а также электромеханический подход и отбор проб паров [3].

У аппаратных методов также есть как достоинства, так и недостатки. Например, все внешние методы, которые включают обнаружение, выполняемое снаружи трубопровода с помощью визуального наблюдения или портативных детекторов, способны обнаруживать очень небольшие утечки и местоположение утечки [9], однако они не позволяют оперативно обнаружить и соответственно устранить утечки, так как проводятся с определенной периодичностью, что не отвечает современным требованиям экологической безопасности. Методы этой группы достаточно надежны и достоверны, поэтому применяются на всех трубопроводах, но в основном как дублирующие [4].

В последнее время все большее распространение находят датчики нового поколения в виде мультисенсорных волоконно-оптических кабелей [5], акустических и оптоволоконных сенсоров [3], а также разрабатывается новая роботизированная система контроля и ремонта действующих газопроводов изнутри и снаружи [7].

Внутренние или вычислительные методы имеют в своей основе программное обеспечение. Они отличаются тем, что основаны на мониторинге внутренних параметров трубопровода, таких как давление, расход и температура. Для группы данных методов характерны простота, непрерывность контроля, низкие эксплуатационные и капитальные затраты, гибкость, оперативность реагирования на возникновение утечки [8].

Наиболее распространены такие методы внутренней группы, как параметрические, акустические, внутритрубной дефектоскопии и статические.

Параметрические методы основаны на использовании данных о параметрах перекачиваемого продукта и характеризуются низкой точностью, высокой частотой ложных срабатываний, неточностью математической модели, затрудненностью применения при переходных (нестационарных) режимах. Тем не менее, за счет простой реализации и низкой стоимости параметрические методы получили наибольшее распространение [1].

Акустические методы основаны на регистрации и оценке акустических шумов и имеют высокую чувствительность и информативность, не требуют больших капиталовложений и энергозатрат, применимы для любых конструкций трубопроводов и для любых жидкостей в трубопроводе, безопасны с экологической точки зрения [2]. Их недостатками являются низкая помехозащищенность и высокое влияние окружающей среды.

Методы внутритрубной дефектоскопии основаны на сканировании стенки трубы внутритрубными инспекционными снарядами, движущимися внутри трубопровода вместе с потоком перекачиваемого продукта. Эти методы способны обнаруживать дефекты с высокой точностью еще до возникновения утечки, позволяют достоверно оценивать техническое состояние трубопроводов, прогнозировать остаточный ресурс, устанавливать необходимость и очередность вывода участков трубопроводов в ремонт. Недостатками данных методов являются периодичность проведения контроля и большая дороговизна дефектоскопов и подготовительных работ [5].

Методы статического контроля применяются при полной остановке перекачки продукта по трубопроводу. Методы просты в реализации, но требуют много времени (до нескольких суток) [1].

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что каждая методика имеет свои достоинства и недостатки. Однако не существует такой технологии обнаружения утечек, которая была бы эффективна в любых условиях для всех трубопроводов и удовлетворяла бы всем критериям, предъявляемым к современным методам обнаружения утечек. Одни методы не позволяют определить местоположение утечек или имеют низкую чувствительность, другие сложны в реализации и требуют больших затрат. Для взаимного устранения недостатков система должна включать комбинацию различных методов.

Так как внутренние методы используют показания измерителей и датчиков, уже установленных на трубопроводах в составе системы сбора и передачи информации, один из способов извлечения максимальной выгоды от комбинирования внешних и внутренних

способов заключается в сборе данных о техническом состоянии газопроводов при помощи внешних методов (аэровизуальное обследование, обследование с применением автоматических газоанализаторов, визуально-измерительный контроль, дистанционное зондирование с применением космосъёмки, лазерное сканирование и т.д.) для улучшения алгоритмов и повышения точности внутренних методов.

Внедрение автоматических систем постоянного контроля позволит оперативно обнаруживать факт утечки и устанавливать место ее образования. Такие системы значительно сокращают время реакции аварийных служб и уменьшают экологический ущерб.

Однако несмотря на надежность комбинированной системы предупреждения и обнаружения утечек газа, она все же не идеальна. Поэтому остаются актуальными создание новых и совершенствование существующих методов и средств обнаружения утечек газа из газопроводов.

Список литературы:

1. Алешков А. А. Современные подходы к обнаружению утечек и несанкционированных врезок на магистральных трубопроводах //Материалы 17-й Международной научно-практической конференции по проблемам экологии и безопасности. – 2019. – С. 160.
2. Болотина И. О. Пассивный контроль герметичности подводных трубопроводов с использованием акустических фазированных антенных решеток /Автореферат на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Томск.: Томский политехнический университет, 2004. - 21 с.
3. Дудин Р. В. и др. Последние достижения в области обнаружения утечек в газопроводах //Вестник евразийской науки. – 2020. – Т. 12. – №. 1.
4. Зверев Ф. С. Совершенствование технологий обнаружения утечек нефти из трубопроводов /Автореферат на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. М.: ГУП «ИПТЭР», 2013. - 25 с.
5. Лисин Ю. В. Разработка инновационных технологий обеспечения надежности магистрального нефтепроводного транспорта /Диссертация на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Уфа.: ФГБОУ ВПО УГНТУ, 2013. - 426 с.
6. Мишкин Г. Б. Классификация систем обнаружения утечек на магистральных трубопроводах нефти, газа и нефтепродуктов // Молодой ученый. – 2010. – № 11. Т.1. – С. 56-58. – URL <https://moluch.ru/archive/22/2266/> (дата обращения: 22.04.2022).
7. Попова, М. Е. Новые технологии при строительстве и монтаже газопроводов / М. Е. Попова, Е. Н. Грэдинарь // Поколение будущего: взгляд молодых ученых - 2021: сборник научных статей 10-й Международной молодежной научной конференции, Курск, 11–12 ноября 2021 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. – С. 247-250. – EDN JOLPJH.
8. Хорошавина, Е. А. Анализ методов обнаружения утечек нефти на магистральных трубопроводах / Е. А. Хорошавина, Н. Р. Хисаева. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2019. — № 41 (279). — С. 24-27. — URL: <https://moluch.ru/archive/279/62916/> (дата обращения: 22.04.2022).
9. Murvay P. S., Silea I. A survey on gas leak detection and localization techniques //Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2012. – Т. 25. – №. 6. – С. 966-973.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Л.Н. Духневич

**ХАРИТОНОВ Е.В., ГОДЯЩЕВА М.В., ШАРИФУЛЛИН А.В.,
БАЙБЕКОВА Л.Р.**

Казанский национальный исследовательский технологический университет

**МЕТОДИКА ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОТИВОТУРБУЛЕНТНЫХ ПРИСАДОК В
ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ. ОТ ИДЕИ К СЕРТИФИЦИРОВАННОЙ
ЛАБОРАТОРИИ**

**KNARITONOV E.V., GODYASHCHEVA M.V., SHARIFULLIN A.V.,
BAYBEKOVA L.R.**

Kazan National Research Technological University

**METHOD OF TESTING ANTI-TURBULENT ADDITIVES IN LABORATORY.
FROM IDEA TO LABORATORY**

В статье разобран путь модернизации лабораторного стенда ООО «НАВА» на основании патента ФГБОУ ВО «КНИТУ» № 166259 от 20.11.2016 года для приведения технологической схемы к работе «из насоса в насос». Данная схема работы позволяет моделировать технологический режим работы магистрального нефте- и нефтепродуктопровода большинства дочерних обществ трубопроводной монополии России ПАО «Транснефть». В работе приведен способ модернизации существующего лабораторного прототипа с построением дополнительной рабочей магистрали на циркуляционном цикле. Время 1 цикла перекачки сократилось с 10 секунд до 7 секунд. Итоговое снижение стоимости единичного эксперимента снизилось на 7-10 % по сравнению с исходным циклом работы из «резервуара в насос».

Рынок нефтепромышленной химии для трубопроводного транспорта на сегодняшний день растет с каждым годом в товарном выражении и происходит её перераспределение между крупными заводами-производителями. Производство необходимых противотурбулентных присадок, возможно будет сконцентрировано в Республике Татарстан, с возможным выходом на проектную мощность в 10 тысяч тонн предприятия ООО «Транснефть-Синтез» [1].

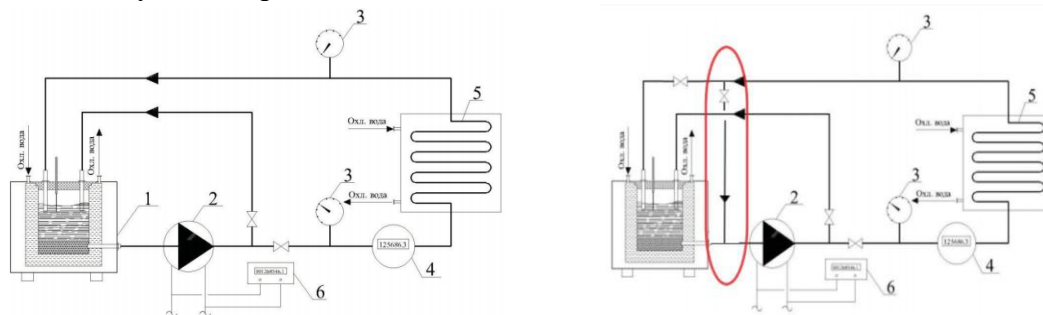
До 2021 года в КНИТУ синтезированные противотурбулентные присадки оценивали по снижению гидравлического сопротивления (эффект Томса) перекачиваемой среды при постоянных температурах на специально разработанной установке для стендовых испытаний расходных характеристик гидравлических сопротивлений в условиях, близких к реальным [2].

Однако данная модель имела недостаток в конструкции как отсутствие возможности перекачивать жидкость по контуру «из насоса в насос». Исходная схема представлена на рисунке 1 а. Решение данной проблемы заключалось во врезке дополнительной секции, зацикливающей контур нагнетания и контур всаса на насос. Для устойчивого контроля технологического режима дополнительно установлены регулирующие устройства. Схема установки после модернизации представлена на рисунке 1 б.

Исследования проводили на рабочей ветке в 8 мм. Температура испытуемой жидкости в установке во время испытаний составила 20-22°C. В расходный бак после стабилизации режима дозировали присадку из расчета 50 г/тонну и переключали поток на циркуляционную магистраль. Фиксация показателей работы установки проводилась с периодичностью 20 секунд. Аналогичные испытания проводили на установке-

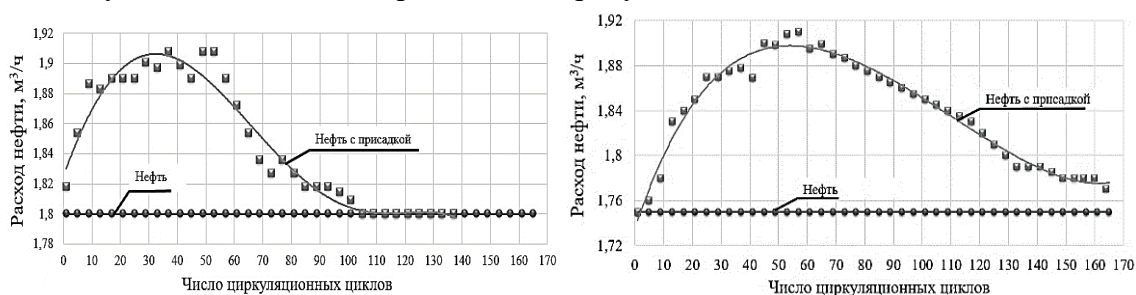
прототипе. Эффективность действия присадки (Т) оценивали по известной методике, которая оценивается снижением коэффициента гидравлического сопротивления трубопровода [3].

На рисунке 2 представлены расходные характеристики нефти с добавлением противотурбулентной присадки, полученные на установке-прототипе (рис. 2а), и на предлагаемой установке (рис. 2б). В таблице приведены данные по эффективности присадки, полученные различными способами испытания.



а) до модернизации б) после модернизации
Рисунок 1. Схема установки

Результаты испытаний приведены на рисунке 2 и в таблице 1.



а) до модернизации б) после модернизации
Рисунок 2. Расход жидкости с присадкой

Как видно из графиков, представленных на рисунке 2, с момента дозирования присадки в расходный бак сначала наблюдается увеличение расхода нефти, который достигает максимума через 30-40 циклов на установке-прототипе (рис.2а) и через 50-60 циклов на предлагаемой установке (рис.2б). Затем в результате процесса деструкции полимерной части присадки от воздействия насоса и потока жидкости расход нефти начинает снижаться. При этом на установке-прототипе после 100 циклов на измерительных приборах не наблюдается увеличение расхода нефти с присадкой относительно расхода нефти, тогда как на предлагаемой установке повышенный расход нефти с присадкой относительно исходной нефти наблюдается до 150-170 циклов.

Отличие графиков на рисунке 2а и 2б объясняется тем, что поток в системе, перекачиваемый из резервуара в насос и снова в резервуар (прототип), имеет застойные зоны из-за конструктивных особенностей расходного бака, и часть присадки может выпасть в осадок из-за низкой скорости движения жидкости в резервуаре и разницы в плотностях между присадкой и перекачиваемой нефтью.

Технологические изменения после модернизации можно наблюдать в таблице 1.

Таблица 1. Основные показатели работы на установке «ДО» и «ПОСЛЕ» модернизации

Параметр сравнения	«ДО» модернизации	«ПОСЛЕ» модернизации
Время прохождения 1 цикла	10 с	7 с
Общее время эксперимента	28 мин	20 мин
Разница концентраций между исследованиями	10-20 г/т	5-10 г/т

В результате, данная модернизация лабораторного стенда позволило привезти конструкцию лабораторной установки к работе по принципу «из насоса в насос». Дополнительно это позволило снизить суммарное время эксперимента на единичные исследования. Исключена дросселиция перекачиваемой жидкости. Итоговое снижение единичного эксперимента снизилась на 7-10 % по сравнению с исходными данными.

Результаты данного НИР сформированы в виде патента на полезную модель и направлены на экспертную оценку в ФИПС. Система многократной циркуляции системы позволяет дополнительно оценивать деструктивный характер воздействия насоса на активную часть полимера противотурбулентной присадки. Это оценка является дополнительным параметром оценки эффективности и расширить конкурентное преимущество по сравнению с другими лабораторными методами оценки, которые оценивают лишь способность снижения гидравлического сопротивления.

Данный проект реализуется при поддержке Казанского технологического университета в рамках проекта Старт-1. Основано малое инновационное предприятие ООО «НАВА» и в рамках апробации технологии проводятся совместные исследования с ООО «Миррико менеджмент» по договору услуг на испытания 30 проб присадок на реальных нефтяных средах общей стоимостью 1 млн. рублей. Проект находится в стадии исполнения. Это дополнительно подтверждает правильность направления развития и имеющийся спрос на технологию тестирования реагентов для трубопроводного транспорта.

Основным исполнителем проекта и разработчиком технологии является аспирант кафедры химической технологии переработки нефти и газа Харитонов Е.В.

Список литературы:

1. Харитонов Е.В., Байбекова Л.Р., Шарифуллин А.В. «Адсорбционные процессы и снижение гидравлического сопротивления» в научном журнале «Neftegaz.ru 12[108] 2020 «Технологии будущего в транспортировке нефти» С.97-99.
2. Установка для стендовых испытаний расходных характеристик гидравлических сопротивлений [Текст]: пат.166259 Рос. Федерация МПК С01F 25/00 / Шарифуллин А.В., Байбекова Л.Р., Хуснуллин А.В., Дусметова Г.И., Харитонов Е.В.; заявитель патентообладатель ФГБОУ ВО «КНИТУ». - №2016100724/28; заявл. 11.01.2016; опубл. 20.11.2016, Бюл. №32. – 4с.
3. Хуснуллин М.М. Композиционные составы для снижения гидравлического сопротивления в системах трубопроводного транспорта продукции нефтяных скважин: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / М.М. Хуснуллин – Казань: изд-во КНИТУ, 2015. – 149 с.

Научные руководители: д.т.н., профессор А.В. Шарифуллин, к.т.н., доцент Л.Р. Байбекова

ШЕШУКОВА Е.И., ШАЛЫГИН А.В.
Санкт-Петербургский горный университет

**ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ
МЕЖФЛАНЦЕВОГО ЗАЗОРА НА ТРУБОПРОВОДАХ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ
ОБСЛУЖИВАНИИ АРМАТУРЫ**

SHESHUKOVA E.I., SHALYGIN A.V.
Saint Petersburg Mining University

**JUSTIFICATION OF THE USE OF A DEVICE FOR ELIMINATING THE
FLANGED GAP ON PIPELINES DURING VALVE MAINTENANCE**

Трубопроводы являются основным преобладающим видом транспорта углеводородов. Благодаря им углеводороды проходят все этапы своего производственного цикла, начиная транспортированием с объектов добычи и заканчивая использованием потребителями. Трубопроводная система захватывает огромную площадь нашей необъятной страны, а также выходит за ее пределы.

Важнейшей частью любого трубопровода является арматура, напрямую управляющая движущимся потоком. Для бесперебойной эксплуатации трубопровода и его арматуры, предотвращения аварийных ситуаций необходимо проведение своевременного технического обслуживания. Объем и периодичность проведения работ по техническому обслуживанию трубопровода и его объектов определяются в нормативной документации по утвержденным графикам, разработанным эксплуатационной организацией [1].

Самым распространенным соединением арматуры с трубопроводом является фланцевое соединение, так как оно может быть использовано при различных условиях среды, показателях температуры и давления [2], а также отличается удобством монтажа и последующего осмотра, обслуживания и ремонта.

При техническом обслуживании фланцевой арматуры возникают проблемы, связанные с образованием межфланцевого зазора. Его устранение на арматуре больших диаметров требует применения дополнительного оборудования, увеличивая не только трудозатраты, но и время технического обслуживания. Образование зазора происходит из-за температурных деформаций трубопровода, возникающих при изменении температуры перекачиваемой и окружающей сред, и деформации грунта.

Для уменьшения влияния возникающих температурных деформаций трубопровода распространено применение различных компенсирующих устройств. По конструкции компенсаторы бывают линзовыми, сальниковыми, П-образными, сильфонными [3]. Каждый вид компенсаторов имеет свои достоинства и недостатки. Также разрабатываются различные модификации существующих основных видов компенсаторов, направленные на устранение их недостатков и улучшения компенсирующих свойств.

Применение компенсаторов не приводит к отсутствию образования межфланцевого зазора при техническом обслуживании фланцевой арматуры. Растягивающие и сжимающие напряжения в трубопроводе из-за снятия напряжения со стороны арматуры приводят к движению трубопровода в сторону ответного фланца или от него.

Для решения данной проблемы предлагается создание устройства, фиксирующего фланцы трубопровода. Применение такого устройства будет препятствовать образованию межфланцевого зазора при снятии арматуры для технического обслуживания.

Предлагаемое техническое решение уменьшит время, затрачиваемое на техническое обслуживание фланцевой арматуры, упростит и обезопасит работу обслуживающего персонала.

В рамках исследования проведено изучение причин образования межфланцевого зазора при техническом обслуживании арматуры, рассмотрение существующих решений для уменьшения воздействия линейных температурных деформаций трубопроводов, исследование преимуществ и недостатков компенсирующих устройств, предложение технического решения, устраняющего образование межфланцевого зазора при техническом обслуживании фланцевой арматуры.

Список литературы:

1. ГОСТ 34182-2017. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Эксплуатация и техническое обслуживание. Основные положения
2. Савельев, С. С. Фланцевые шаровые краны / С. С. Савельев // Экспозиция Нефть Газ. – 2014. – № 4(36). – С. 46.
3. Михалькова, Л. А. Применение и изготовление компенсаторов температурных деформаций / Л. А. Михалькова, В. С. Щетинин // Научно-техническое творчество аспирантов и студентов : материалы всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов, Комсомольск-на-Амуре, 09–20 апреля 2018 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, 2018. – С. 113-115.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, А.В. Шалыгин

ШКУТОВ И.В.

Ухтинский государственный технический университет

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ НА ОСНОВЕ ВНУТРИТРУБНЫХ ИНСПЕКЦИОННЫХ ПРИБОРОВ

SHKUTOV I.V.

Ukhta State Technical University

METHOD FOR ASSESSING THE STRESS-STRAIN STATE OF OIL AND GAS PIPELINES ON THE BASIS OF IN-LINE INSPECTION DEVICES

Важнейшей задачей нефтегазовых компания, транспортирующие углеводороды, является безопасная и бесперебойная эксплуатация магистрально трубопровода. Неотъемлемой часть эксплуатационного процесса является диагностика действующих магистральных нефти- газопроводов, на наличие дефектов [1].

Целью данной работы является дооснащение внутритрубных снарядов, датчиками инклинометрами, благодаря которым можно будет получать большой объем достоверной информации о местонахождении магистрального нефти-газопровода в пространстве. Более точная информация позволит сократить возникновение аварийных ситуаций и продолжать бесперебойно эксплуатировать трубопровод.

Инклинометрия – это метод оценки положения объектов относительно друг друга и в окружающем пространстве с помощью специального прибора - датчика-инклинометра. Данный датчик основан на измерении угла наклона объекта относительно гравитационного поля Земли, так же позволяя измерить его направление — азимут.

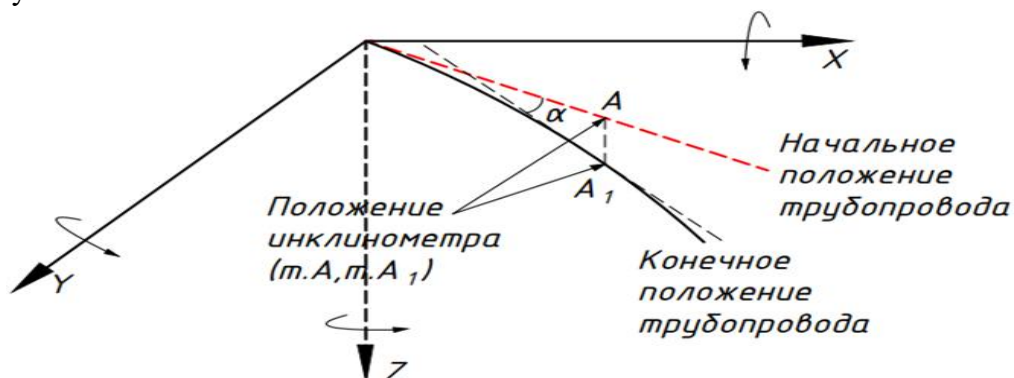


Рисунок 1. Определение пространственного положения трубопровода методом инклинометрии

Одним из основных методов оценки напряженно-деформированного состояния, по данным мониторинга пространственного положения нефти-газопровода, является внутритрубная диагностика. Современные внутритрубные инспекционные приборы оснащены многоканальными системами, которые позволяют определить данные о геодезических координатах каждого дефекта и радиусе изгиба каждого участка трубы.

Данная технология БИНС (бесплатформенная инерциальная навигационная система) - прибор, определяющий свое положение в пространстве с помощью датчиков ускорений и угловых скоростей, позволяет выявлять дефекты в геодезической системе координат. Несмотря на то, что их точностные характеристики относительно невысоки, приведенный дрейф нулевого сигнала гироскопов составляет $1-3^\circ/\text{ч}$, применение данной технологии является актуально [2].

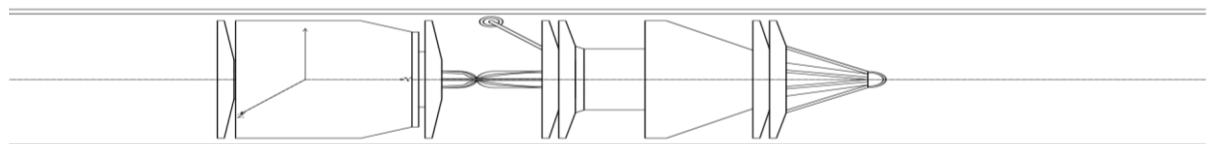


Рисунок 2. Измерения ВИП в зависимости от координаты профиля

На участке трубопровода с напряженно-деформированным состоянием в процессе внутритрубной диагностики, были сняты показатели инклинометра, и определили вертикальную компоненту радиуса изгиба трубопровода, в дальнейшем рассчитав его показатели изгибных напряжения.

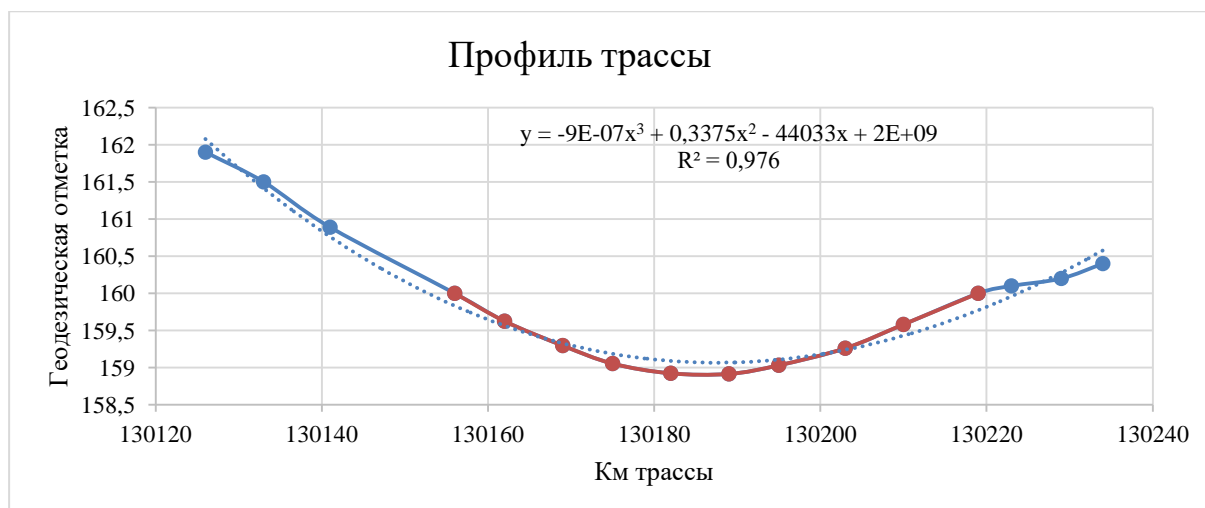


Рисунок 3. Профиль исследуемого трубопровода

Таблица 1. Исходные данные

№ участка	Величина угла наклона, град	Расстояние замера, км	Вертикальная компонента радиус кривизны, м/рад
4.1	-1,87	130,175	2000
4.2	-1,83	130,176	1445
4.3	-1,81	130,177	3000
4.4	-1,795	130,178	4000

Таблица 2. Оценка достоверности результатов расчёта НДС изогнутого участка трубопровода

№ участка	Величина угла наклона, град	Напряжения изгиба, МПа		
		Оценки изгибных напряжений в стенках трубопровода с применением инклинометра	Оценки изгибных напряжений в стенках трубопровода на основании результатов моделирования в «SOLIDWORKS»	Относительная погрешность, %
4.1	-1,87	246	248	0,48
4.2	-1,83	254	259	1,61
4.3	-1,81	255	259	1,24
4.4	-1,795	247	249	0,71

Полученные результаты были сверены с результатами моделирования, тем самым подтверждая достоверность полученных выше.

В процессе внутритрубной диагностики инклинометр позволит отслеживать напряженно-деформированное состояние, тем самым расширяя объем информации участков магистрального трубопровода.

Список литературы:

1. Кузьбожев, А. В. Сальников, И. В. Шишкин, И. А. Шаммазов. Геокриологические процессы и явления на трассах магистральных газопроводов

и способы их предотвращения [Текст] : учеб. пособие / И. Н. Бирилло, А. С.– Ухта : УГТУ, 2018. – 108 с.

2. Падерина, Т. В. Применение глубинных трехкоординатных датчиков наклона при решении задач геотехнического мониторинга / Т. В. Падерина, В. В. Яковлев, Ю. М. Гордеев. - [Текст] : непосредственный // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2012. № 6 (82). С. 58–63.
3. Агинеи, Р.В. Разработка методики оценки напряженного состояния нефтегазопроводов по коэрцитивной силе металла: дис. ...канд. техн. наук 25.00.19 / Агинеи Руслан Викторович. – Ухта, 2005. – 143 с.
4. Исламов, Р. Р. Совершенствование системы мониторинга технического состояния протяженных участков магистральных нефтегазопроводов применением волоконно-оптических сенсоров деформаций [Текст]:дис. канд. техн. наук: 25.00.19 / Р. Р. Исламов. – Ухта, 2018. – 168 с.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Р.В Агинеи

ЯРКОВОЙ В.В.

ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

ТЕСТИРОВАНИЕ ПЛЁНОЧНЫХ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ МЕТОДАМИ ЛИНЕЙНО-ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И ЦИКЛИЧЕСКОЙ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИИ

YARKOVOI V.V.

Gazprom VNIIGAZ LLC

TESTING OF FILM CORROSION INHIBITORS BY LINEAR POLARISATION RESISTANCE AND CYCLIC VOLTAMMETRY

В работе предлагается способ тестирования плёночных ингибиторов коррозии при использовании электрохимических методов, совмещающих различные методы электрохимических исследований.

Актуальность исследования. Углекислотная коррозия является опасным видом коррозионного разрушения, который характеризуется локальным характером дефектов [1]. Для защиты от коррозии трубопроводов в таких условиях применяется ингибиторная защита, в том числе и ингибиторы плёночного типа [2]. Для определения эффективности их защитного действия применяются различные методы испытаний: гравиметрические, электрохимические и др. [3]. Механизм ингибиторной защиты основан на адсорбции органических соединений, которые преимущественно являются азотсодержащими соединениями. Активный центр функциональной группы ингибитора коррозии адсорбируются на металлической поверхности [4]. При наличии длинной углеводородной цепи в его составе она способна гидрофобизировать и образовать защитную пленку на поверхности стали от воздействия коррозионно-опасных факторов (воды, CO₂ и др.).

Методы исследования. Исследования на ингибирование углекислотной коррозии в слабоминерализованной воде проводили методами линейно-поляризационного сопротивления и циклической вольтамперометрии. Данная группа методов позволяет

определить не только скорость процесса роста углекислотной коррозии, но и устойчивость плёнки ингибитора от химического или физического воздействия. Дополнительно после метода линейно-поляризационного сопротивления поверхность стали исследовалась на металлографическом микроскопе. Тестирование проводилось на ряде азотсодержащих промышленно выпускаемых ингибиторов коррозии.

Основная часть. Плёнка ингибитора коррозии, адсорбируясь на поверхности стали, подавляет / предотвращает возникновение очагов коррозии. В связи с чем для подбора реагента такого типа основным фактором является устойчивость плёнки. Она должна сохранять свою целостность на поверхности стали. В данной работе при обоих методах тестирования создавались динамические условия: при тестировании методом линейно-поляризационного сопротивления использовалось перемешивание раствора, а в циклической вольтамперометрии рабочий электрод вращался со скоростью 3000 об/мин. Данные условия исследований позволяют приблизиться к реальным процессам, которые происходят при транспортировке углеводородов совместно с коррозионно-опасными компонентами (влаги, CO_2 и др.) по трубопроводу. В ходе применения двух вышеуказанных электрохимических методов, исследовались возможности сравнительного анализа и подбора эффективных плёнообразующих ингибиторов. Подача высокого тока при методе циклической вольтамперометрии оказывает разрушающий эффект на ингибиторную плёнку с внутренней стороны, т.е. с поверхности стального электрода. При методе измерения линейно-поляризационного сопротивления большее воздействие на плёнку ингибитора оказывается за счёт долгосрочного нахождения в агрессивной среде, при которой защитная плёнка должна оставаться стабильной на поверхности стали. Изображения, полученные на металлографическом микроскопе, демонстрируют, что в системе без ингибитора отмечается повреждение поверхности электрода равномерной коррозией, а в системе с ингибитором 7 отчётливо наблюдается язвенная коррозия.

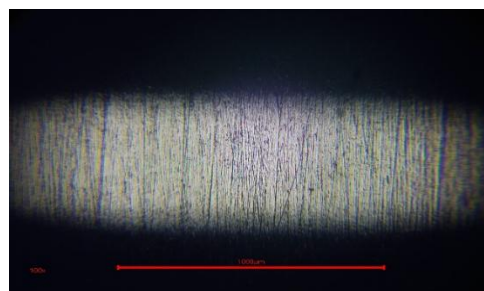
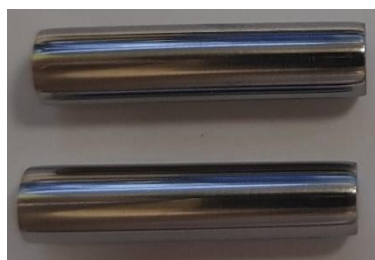
Выводы. В ходе выполненной работе были получены следующие результаты:

- Результаты, полученные методами линейно-поляризационного сопротивления и циклической вольтамперометрии, согласуются и дополняют друг друга.
- Использованные ингибиторы коррозии демонстрируют различную эффективность по защите стали от локальной коррозии (коррозионные повреждения различного характера).
- Представленный комплекс электрохимических и поверхностных методов исследования расширяет возможности коррозионных испытаний и повышает достоверность получаемых данных по эффективности ингибиторов плёночного действия.

Среда К,
 мм/год Макро

Микро

Без
Ингиби- *
тора



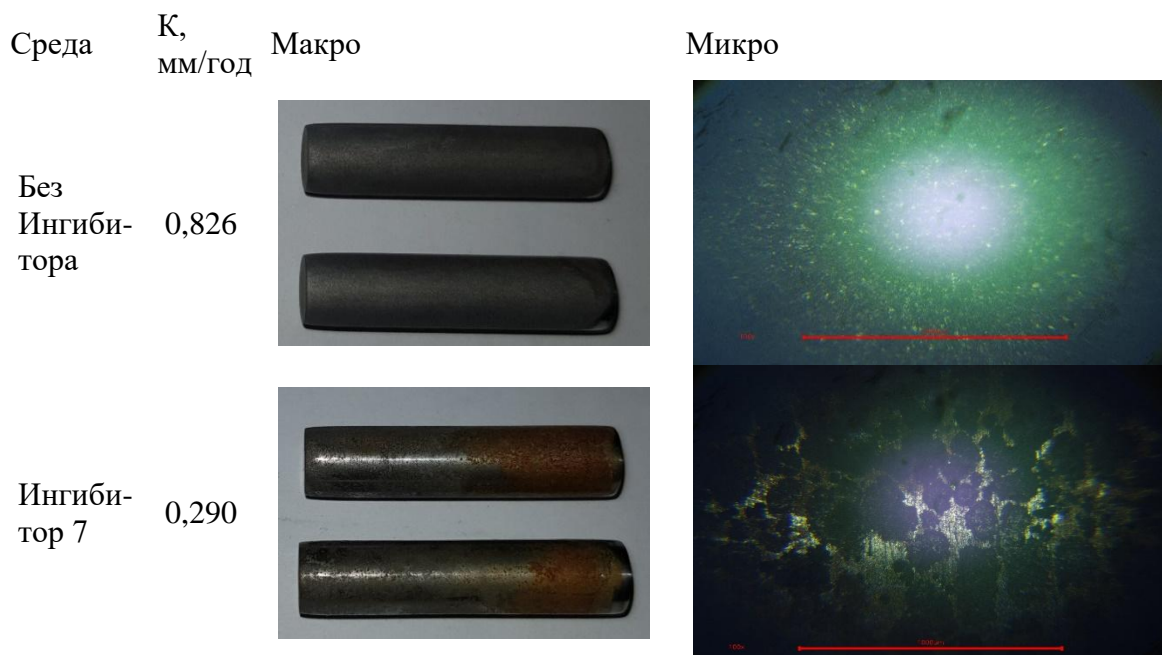


Рисунок 1. Поверхность рабочих электродов для метода линейно-поляризационного сопротивления

Список литературы:

1. Kantyukov R.R., Zapevalov D.N., Vagapov R.K. ANALYSIS OF THE APPLICATION AND IMPACT OF CARBON DIOXIDE MEDIA ON THE CORROSION STATE OF OIL AND GAS FACILITIES, Journal of Mining Institute, (2021), V. 250, №4, p. 578-586.
2. Paolinelli L.D., Brown B., Simison S.N., Nestic S. INHIBITION OF CO₂ CORROSION OF CARBON STEEL WITH 1% Cr, Materials Chemistry and Physics, (2012), V. 136, №2-3, p. 1092-1102
3. Papavinasam S., Revie R.W., Attard M., Demoz A., Michaelian K. COMPARISON OF LABORATORY METHODOLOGIES TO EVALUATE CORROSION INHIBITORS FOR OIL AND GAS PIPELINES, Corrosion, (2003), V. 59, №10, p. 897–912.
4. Askari, M., Aliofkhazraei, M., Ghaffari, S., Hajizadeh, A. (2018). FILM FORMER CORROSION INHIBITORS FOR OIL AND GAS PIPELINES - A TECHNICAL REVIEW. Journal of Natural Gas Science and Engineering, (2018), V.58, p. 92-114.

Научный руководитель: к.х.н., начальник центра Д.Н. Запевалов

**Секция 4 – 5. ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРИРОДНЫХ
ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ, УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И НЕОРГАНИЧЕСКИХ
ВЕЩЕСТВ. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ
ПЕРЕРАБОТКИ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ**

АЛФЕРОВА Д.А.

Санкт-Петербургский горный университет

**ЖИДКОСТНАЯ ЭКСТРАКЦИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ
ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ АПАТИТА**

ALFEROVA D.A.

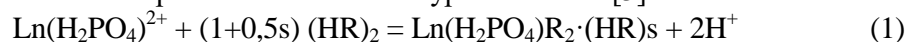
Saint Petersburg Mining University

**LIQUID EXTRACTION OF RARE EARTH ELEMENTS FROM APATITE
PROCESSING PRODUCTS**

Редкоземельные элементы (РЗЭ) — стратегическое сырье, используемое в сферах производства компьютеров, мобильных телефонов, аккумуляторов, высокоточной оптики — вещей, без которых невозможно представить современную жизнь и на которых основывается развитие человечества [1]. Россия занимает 4 место в мире по запасам РЗЭ, большая часть которых содержится во фторапатите Кольского полуострова [2].

Существует технология получения фосфорных минеральных удобрений из продуктов переработки фторапатита, а именно разложение руды серной кислотой с получением фосфорной кислоты (отправляющейся на переработку) и фосфогипса (отправляющегося в отвалы). При этом часть РЗЭ переходит в раствор фосфорной кислоты, а часть — соосаждается вместе с фосфогипсом. Создание технологий комплексного использования вторичных ресурсов и производственных растворов — важный шаг на пути к безотходной переработке и рациональному природопользованию.

Промышленная фосфорная кислота характеризуется высоким относительным содержанием ценной – тяжелой группы РЗЭ. Особенностями данного объекта исследования являются: высокая кислотность растворов, низкое содержание целевых компонентов и наличие примесей железа и титана. Наиболее эффективное извлечение ценных компонентов происходит за счет применения метода жидкостной экстракции с использованием фосфорорганического экстрагента (Д2ЭГФК), в качестве разбавителя использовался керосин. Реакция взаимодействия РЗЭ и экстрагента описывается уравнением 1 [3]:



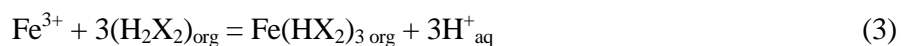
где s - количество сольватирующих молекул кислоты, $\text{Ln}(\text{H}_2\text{PO}_4)^{2+}$ - комплексные ионы РЗЭ (3+).

Согласно уравнению 1, экстракция металлов происходит по катионообменному и донорно-акцепторному механизмам. Методом сдвига равновесия было установлено, что число молекул Д2ЭГФК (s), присоединяемое каждым из металлов, различно (Nd, Sm–2; Gd, Tb, Dy, Ho, Y–3; Er–4; Yb–5). Чем больше сольватное число, тем прочнее связь металла с экстрагентом и лучше его извлечение.

Одновременно с ценными компонентами в органическую фазу переходят примесные элементы – железо и титан. Цель данной работы – поиск решения по получению экстракта РЗЭ не содержащего примеси железа и титана.

Химическое взаимодействие соединений титана, железа и экстрагента описывается уравнениями 2 и 3:





Ионы титанила и железа взаимодействуют экстрагентом с выделением ионов водорода, поэтому для извлечения металла и смещения равновесия в сторону обратной реакции необходимо вещество с кислотными свойствами, образующее прочные комплексы с ионами металлов. Данным требованиям отвечает щавелевая кислота ($\lg K_{\text{уст}}(\text{Ti}, \text{Fe})=5,7-10,7$ в широком интервале pH) [3, 4].

Для определения эффективных параметров очистки были определены зависимости степени извлечения титана от концентрации щавелевой кислоты, времени проведения процесса, скоростей перемешивания, относительного содержания водной и органической фаз и температуры.

На основании полученных экспериментальных зависимостей, рассчитаны энергии активации и энтальпии. Сделан вывод, что реакции 2 и 3 — экзотермические, а их лимитирующей стадией является массоперенос. Следовательно, реакция реэкстракции титана и железа протекает быстрее с ростом скорости перемешивания и полнее с увеличением температуры.

Определенные параметры реэкстракции представлены в таблице 1.

Таблица 1. Эффективные параметры очистки экстракта РЗЭ от примесей металлов

Параметры	Численное значение	Единицы измерения
Концентрация Д2ЭГФК в керосине	50	%
Концентрация $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$	0,25	Моль/л
Соотношение фаз $V_{\text{org}}/V_{\text{aq}}$	0,5	

Чтобы повысить емкость экстрагента по редкоземельным элементам введена стадия очистки экстракта при помощи щавелевой кислоты после каждой ступени извлечения. Таким образом, была получен очищенный и насыщенный раствор РЗЭ в органической фазе.

В качестве реэкстрагента редкоземельных элементов выбрана серная кислота. Драказано, что увеличение ее концентрации повышает степень извлечения для каждого металла. Определены оптимальные условия разделения тяжелых РЗМ и их максимального концентрирования.

Согласно разработанной в ходе исследований схеме получения и разделение смеси тяжелой группы РЗЭ на индивидуальные компоненты, получены прототипы Yb, Y и Dy чистотой не менее 90% со степенью извлечения не менее 90% и содержание соединений примесных (не редкоземельных) металлов не более 5%

Благодарность: Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №19-19-00377).

Список литературы:

1. Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability COM/2020/474 URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0474>
2. Геологическая служба США. URL: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr20191023A>
3. Cheremisina O.V. Zapiski Gornogo Instituta, 2015, Vol.214, 39–50.
4. Малука, Л.М. автореферат дис. доктора химических наук: 02.00.04, Кубан. гос. технол. ун-т. - Краснодар, 2005. - 54 с.

Научный руководитель: д.т.н., профессор О.В. Черемисина

АМИРОВ Т.Ф.

Самарский государственный технический университет

РАЗРАБОТКА КЕРАМИЧЕСКОГО ДИСПЕРГАТОРА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ПИРОЛИЗА МЕТАНА В КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕДАХ

AMIROV T.F.

Samara State Technical University

DEVELOPMENT OF A CERAMICALLY SPARGER FOR USE IN PYROLYSIS OF METHANE IN CONDENSED MEDIUM

В современном мире важным аспектом является экология. Этим объясняется стремление к декарбонизации атмосферного воздуха, сокращение потребления нефти, внедрение использования приемлемого, с экологической точки зрения, природного газа, активное развитие водородной энергетики.

Основная часть запасов водорода получается из углеводородсодержащих материалов путем паровой конверсии метана из природного газа или благодаря газификации угля. Альтернативным способом получения водорода (без образования углекислого газа) является пиролиз метана, в том числе в конденсированных средах.

Сегодня при получении водорода путем пиролиза природного газа в конденсированных средах природный газ подается в конденсированную среду через сопла, одиночные отверстия, трубки [1-3].

Предлагается использовать вместо одиночных отверстий или сопел – керамический диспергатор, который позволит получать большее количество пузырей газа в конденсированной среде, что позволит увеличить поверхность раздела фаз и время пребывания газа в расплаве. Это приведёт к уменьшению энергии активации реакции пиролиза метана и увеличению степени его конверсии.

Образцы предполагаемого диспергатора исследовали на машине для испытаний материалов на механическую прочность фирмы ZwickRoell, фиксация данных проводилась программой «testXpert II». Для определения размера пор и структуры материала проводили исследования образцов на растровом электронном микроскопе.

В вышеперечисленных испытаниях исследовались образцы предполагаемого диспергатора из корунда, волокнистые материалы на основе сверхчистого аморфного кварцевого волокна – ТЗМК-10 и ТЗМК-25, которые были разработаны для теплозащиты орбитального космического корабля «Буран», а также ряд керамических диспергаторов с различными размерами пор. Проведенные исследования показали невозможность использовать диспергаторы на основе корунда в виду хрупкости материала. Также невозможно использовать материалы ТЗМК-10 и ТЗМК-25 по причине волокнистой структуры материала, данный факт говорит о том, что, в случае подачи газа с высоким расходом, возможен отрыв волокон материала, и, как следствие, дальнейшее образование дыр в диспергаторе, через которые конденсированная среда будет поступать в трубопровод подаваемого газа. В результате проведенных исследований были рекомендованы для дальнейших испытаний образцы диспергаторов на основе керамики, по причине их высокой прочности, наличию несмачиваемой поверхности, наличием пор с размерами менее 10 мкм.

В ходе последующих исследований был осуществлен подбор и разработка керамических образцов диспергаторов, подбор конденсированных сред, построена математическая модель процесса барботирования и проведен ряд экспериментов. Проведение данных экспериментов заключалось в пропускании потока углекислоты через образцы предполагаемого диспергатора в конденсированную среду, которая представляла собой воду или глицерин, после чего фиксировались размеры пузырьков газа, их количество, интенсивность образования. В ходе эксперимента наблюдалось отсутствие коагуляции пузырей газа, а также отсутствие поршневого эффекта. Диаметр образующихся пузырей газа варьировался в зависимости от скорости подачи газа от 2 мм до 5 мм при соответственных расходах подаваемого газа 0,014 л/ч и 0,071 л/ч.

С целью проверки выбранных образцов для предполагаемого диспергатора в условиях наиболее приближенных к эксплуатационным провели опыт подобный вышеуказанному. Отличие заключалось в измененной конденсированной фазе – использовали расплав олова, добавили индукционный нагрев до 400 °С, подаваемый газ заменили с углекислоты на инертный газ – азот.

В ходе опыта наблюдали образование пузырей в расплаве олова с размерами от 2 до 4 мм при подаваемом расходе азота равном 4,8 л/ч. По завершению эксперимента керамический образец был извлечен и исследован. Химических или физических изменений не обнаружили.

Таким образом, в результате проделанной работы были достигнуты результаты, удовлетворяющие поставленные требования. Перспектива дальнейших исследований – отработка применения разработанного диспергатора в условиях работы реактора по получению водорода путем пиролиза метана в конденсированной среде.

Список литературы:

1. Парфенов, В.Е., Никитченко, Н.В., Пименов, А.А., Кузьмин, А.Е., Куликова, М.В., Чупичев, О.Б & Максимов А.Л. (2020). «Пиролиз метана водородного направления: особенности применения металлических расплавов». Журнал прикладной химии. – 2020. – Т. 93. Вып. 5. – С. 611-619.
2. Hydrogen production via methane pyrolysis in a liquid metal bubble column reactor with a packed bed / T. Geißler, A. Abánades, A. Heinzl [и др.] // Chemical Engineering Journal. – 2016. – Т.299. – С.192–200.
3. Membrane bubble column reactor model for the production of hydrogen by methane pyrolysis / Thomas C. Farmer, Eric W. McFarland, Michael F. Doherty // International Journal of Hydrogen Energy №29. – 2019. – Т.14731. – С.14721-14731.

Научный руководитель: д.т.н., профессор А.А. Пименов

БАЛАНДИНСКИЙ Д.А., ГОРБАЧЕВА А.А.
Санкт-Петербургский горный университет

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
ЭТОКСИЛИРОВАННЫХ ЭФИРОВ ФОСФОРНЫХ КИСЛОТ В СОСТАВЕ
КОМПОЗИЦИИ АНИОННЫХ ПАВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ФЛОТАЦИОННОГО
ИЗВЛЕЧЕНИЯ АПАТИТА**

BALANDINSKY D.A., GORBACHEVA A.A.
Saint Petersburg Mining University

**PHYSICO-CHEMICAL FEATURES OF APPLICATION OF ETHOXYLATED
ESTERS OF PHOSPHORIC ACIDS IN COMPOSITION OF ANIONIC
SURFACTANTS TO INCREASE FLOTATION EXTRACTION OF APATITE**

Проблема подбора эффективных сочетаний реагентов для флотационного обогащения апатита имеет высокое значение и актуальность для устойчивого развития минерально-сырьевого комплекса Российской Федерации. Апатит-нефелиновые руды Хибинских месторождений, на сегодняшний день, являются единственным источником товарного апатитового концентрата [1]. Тем не менее, в связи с изменением минерального состава перерабатываемой руды и увеличением щелочности оборотных вод, возникает необходимость в совершенствовании реагентного режима. Решение данной проблемы заключается в определении физико-химических закономерностей действия сочетаний реагентов в условиях флотационного извлечения апатита и определении оптимальных параметров, позволяющих прогнозировать эффективность смеси.

Согласно современным представлениям о принципах подбора флотационных реагентов: эффективная собирательная смесь должна, с одной стороны, обеспечивать минимально необходимую гидрофобизацию поверхности минерала ионной формой реагента, а с другой, обеспечить уровень поверхностного натяжения раствора, при котором действия потока физических сорбированных молекул будет достаточно для формирования флотационного контакта с целевым минералом, но недостаточно для извлечения минералов пустой породы [2].

В представленной работе изучено действие реагента Фосфол-6 (продукт отечественной компании АО «ИВХИМПРОМ»), представляющего собой смесь этоксифосфатов и этоксиполифосфатов со средней степенью этоксилирования равной 6, а также проведено сравнение действия данного реагента с импортным Phospholan PE65 (продукт Нидерландской компании Nouryon), представляющим собой смесь этоксилированных эфиров фосфорной кислоты с соотношением моно- / ди-равным 1.1 / 1.4.

Реагент Фосфол-6 в сравнении с Phospholan PE65 обладает крайне высокой поверхностной активностью (рисунок 1), в особенности, за счет наличия объемных молекул полифосфорной кислоты в своем составе.

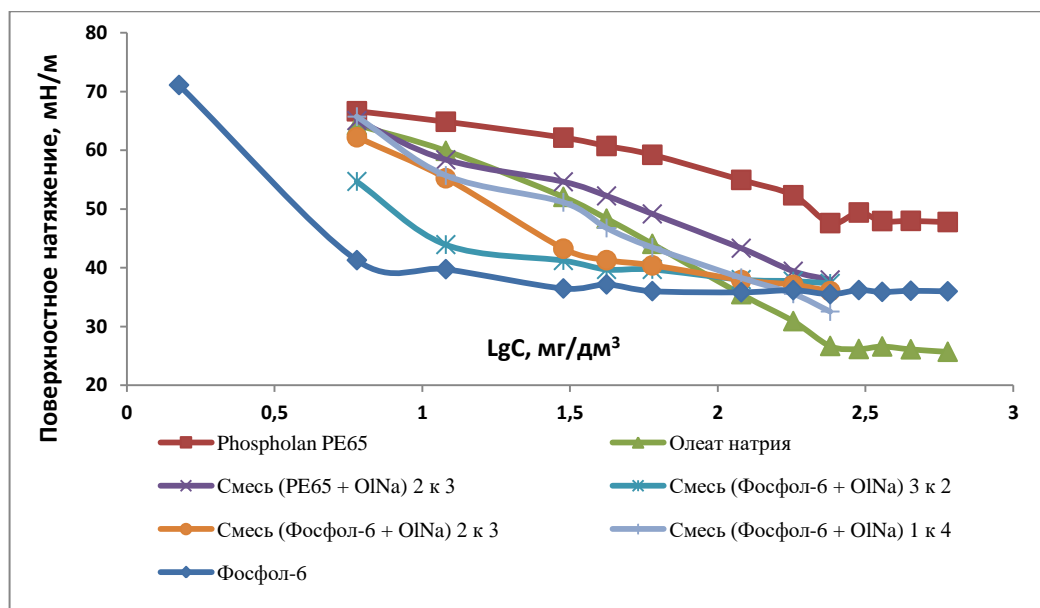


Рисунок 1. Поверхностное натяжение композиций анионных поверхностно-активных веществ различного состава в омыленной форме в присутствии Na_2SiO_3 с концентрацией 150 мг/л. (Сокращения: OINa – олеат натрия, PE65 – Phospholan PE65)

Результаты флотационных экспериментов демонстрируют (рисунок 2), что применение индивидуальных фосфорных эфиров в условиях флотационного извлечения апатита демонстрирует повышенную активность реагента Phospholan PE65. Вероятно, за счет более низкой поверхностной активности, обеспечивающей более селективное извлечение минерала в пенный продукт. Фосфол-6, напротив, демонстрирует неселективное действие.

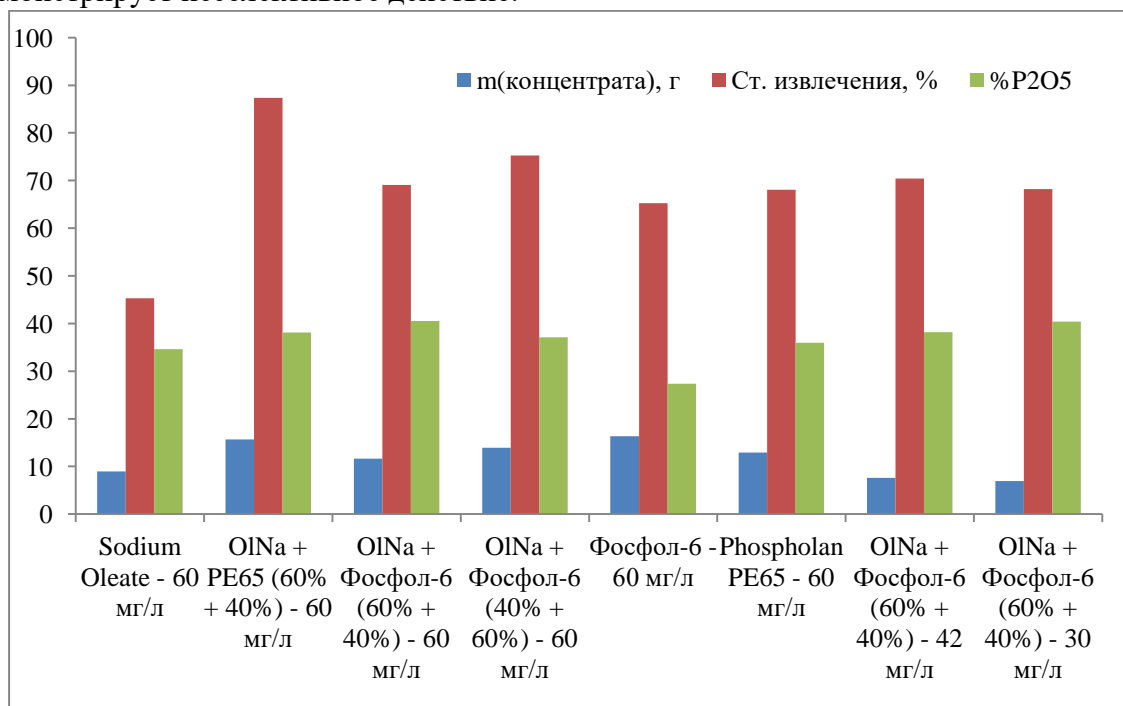


Рисунок 2. Флотационные характеристики собирательных смесей различного состава

Мощный поток физически-сорбированных молекул в совокупности с обильным пенообразованием приводит к выносу большого количества пустой породы в пенный продукт. Применение же данных эфиров в сочетании с жирнокислотным реагентом (олеат натрия) в обоих случаях приводит к улучшению флотационной активности. Причем, в случае с Phospholan PE65 наличие олеата натрия обуславливает снижение поверхностного натяжения раствора, что приводит к усилению действия физической формы сорбции. А в случае с Фосфол-6, напротив, увеличивает поверхностное натяжение и диспергирует молекулярные агрегаты, что позволяет значительно сократить расход реагента, усилить селективность и сохранить необходимую степень извлечения.

Таким образом, регулирование активности молекул ПАВ путем подбора соответствующих сочетаний реагентов, позволяет создавать эффективные собирательные смеси, в том числе, на основе отечественной продукции.

Список литературы:

1. Георгиевский Алексей Федорович, Бугина Виктория Михайловна СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФОСФАТНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ РОССИИ // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. 2020. №3.
2. Kondrat'ev S. A. Collectability and Selectivity of Flotation Agent // J. Min. Sci. 2021. T. 57. № 3. С. 480–492.

Научный руководитель: д.т.н., профессор О.В. Черемисина

ВЕРШИНИНА В.А.

Санкт-Петербургский горный университет

РАЗРАБОТКА СОСТАВА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА С УЛУЧШЕННЫМИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ СВОЙСТВАМИ

VERSHININA V.A.

Saint Petersburg Mining University

DEVELOPMENT OF THE COMPOSITION OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY DIESEL FUEL WITH IMPROVED LOW-TEMPERATURE PROPERTIES

Актуальность.

Проблема получения и применения «экологически чистых» дизельных топлив с улучшенными низкотемпературными свойствами является весьма актуальной. Получение высококачественных дизельных топлив без применения присадок различного функционального назначения невозможно, поскольку требования к качеству дизельного топлива постоянно ужесточаются, а качество исходного сырья из-за увеличения доли тяжелых высокосернистых нефтей в общем объеме их производства - ухудшается.

Присадки - самый дешевый и надежный способ достижения высокого уровня качества дизельного топлива европейского пятого класса. Разнообразие видов присадок

постоянно увеличивается, однако вопрос о целесообразном их использовании остается недостаточно изученным. Кроме того, присадки - это вещества разной химической природы. Включение их в пакеты может иметь антагонистический эффект, требующий проведения дополнительного изучения.

Задачи исследования.

Основной задачей исследования являлось улучшение низкотемпературных свойств гидроочищенного дизельного топлива при введении в его состав различных депрессорно-диспергирующих присадок.

Методы исследования.

В ходе проведения исследования были использованы три депрессорно-диспергирующих присадок различного производства – отечественного и зарубежного (образцы 1, 2 и 3).

Данные испытания проводились двумя методами. Первый метод был основан на ГОСТ 20287-91 «Нефтепродукты. Методы определения температур текучести и застывания». Испытания по второму методу выполнялись на автоматическом аппарате для определения предельной температуры фильтруемости на холодном фильтре с интегрированной системой охлаждения ПТФ-ЛАБ-12 в соответствии с ГОСТ 22254-92 в диапазоне температур от комнатной до минус 67 °С [2].

Результаты и их обсуждение.

Установлено, что добавление присадки (образец 1) улучшает низкотемпературные свойства гидроочищенного дизельного топлива до минус 41°С (класс 4) [3].

Выводы.

Выявлено, что наилучшую эффективность показала депрессорно-диспергирующая присадка (образец 1) при ее введении в гидроочищенное дизельное топливо в количестве 2 % масс., снизив его температуру застывания на 17°С, а предельную температуру фильтруемости - на 11°С.

Список литературы:

1. Карпушкин С.И., Джалилов А.Т, Барханаджан А.Л. Использование высокомолекулярных соединений в качестве депрессорных присадок. // Ж. химия и химическая технология. 2009. №2 (24). С. 45-46.
2. ГОСТ Р 54269-2010. Топлива. Метод определения предельной температуры фильтруемости на холодном фильтре URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-54269-2010> (дата обращения 06.04.2022).
3. ГОСТ 32511-2013. Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200108413> (дата обращения 06.04.2022).

Научный руководитель: д.т.н., профессор Н.К. Кондрашева

ГО ЯН¹, ГО ФАНЬХУЭЙ¹, ЛУ ЧЖОУ², ГО ЧЖЭНЬКУНЬ¹, МЯО ЗЕКАЙ¹,
ХУ ЛЮ¹, ЧЖАН СИНЬСЯО¹, ВУ ЦЗЯНЬЦЗЮНЬ^{1,2}, ЧЖАН ИСИНЬ^{1,2}

¹ Китайский университет горного дела и технологий

² Guodian Nanjing Coal Quality Supervision and Inspection Co., Ltd.

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОГО СЖИГАНИЯ СМЕСЕЙ МЕЛКОГО
ШЛАКА ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ, ОСТАТОЧНОГО УГЛЕРОДА И ДРЕВЕСНЫХ
ОПИЛОК: ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, ХАРАКТЕРИСТИКА
ГОРЕНИЯ И КИНЕТИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ**

GUO YANG¹, GUO FANHUI¹, LU ZHOU², GUO ZHENKUN¹, MIAO ZEKAI¹,
HU LIU¹, ZHANG XINXIAO¹, WU JIANJUN^{1,2}, ZHANG YIXIN^{1,2}

¹ China University of Mining and Technology

² Guodian Nanjing Coal Quality Supervision and Inspection Co., Ltd.

**INVESTIGATION ON CO-COMBUSTION OF COAL GASIFICATION FINE SLAG
RESIDUAL CARBON AND SAWDUST CHAR BLENDS: PHYSIOCHEMICAL
PROPERTIES, COMBUSTION CHARACTERISTIC AND KINETIC BEHAVIOR**

The conversion of solid waste into energy through combustion is sustainable and economical. This study aims to systematically investigate the physicochemical properties, co-combustion characteristic and kinetic behavior of sawdust char and residual carbon in order to guide its combustion as the potential solid fuel in the industrial-scale furnace. In this study, residual carbon (RC) in gasification fine slag (FS) was recycled by one-step froth flotation as a supplementary fuel and the sawdust char (SC) was obtained from a low-temperature pyrolysis process to overcome the deficiency of the use of biomass waste as a direct fuel. The X-ray fluorescence spectrometer (XRF), particle size distribution analysis, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), Raman spectroscopy and scanning electron microscopy (SEM) were used to obtain physicochemical properties of FS, RC and SC. Moreover, SC and RC were blended in different proportions and the co-combustion characteristic and kinetic behavior were investigated through non-isothermal thermogravimetric analysis (TGA) under air atmosphere. The main findings are as follows:

The froth flotation process to recycle the residual carbon from coal gasification fine slag increases the higher heating value from 7.81 to 17.70 MJ/kg and upgrade the fuel quality by effectively removing spherical mineral particles attached to the carbon particles surface or entrained in the pores. The addition of sawdust char into residual carbon could obviously improve the ignitability and combustibility of residual carbon. In the co-combustion process, both synergistic and antagonistic effects (Interaction index X_d varies from -3.89 to 13.6) exist between sawdust char and residual carbon, while the synergistic effect was dominant. The first-order chemical reaction (O1) and diffusion-controlled reaction (D3 and D4) are the most effective mechanisms (all the correlation coefficient R^2 more than 0.98) for the multi-step co-combustion process. The percentage of sawdust char in blends is recommended to be maintained at 40 wt.% because of the lowest combustion total activation energy (105.77 kJ·mol⁻¹) and the strongest synergistic effect (Interaction index $X_d = 13.6$). The results provide theoretical reference for realizing the sustainable utilization of coal gasification fine slag and biomass waste resources.

Authorship contribution statement: Yang Guo: Conceptualization, Investigation, Writing - original draft. Fanhui Guo: Data curation, Investigation. Lu Zhou: Investigation, Resources. Zhenkun Guo: Visualization, Software. Zekai Miao: Investigation. Hu Liu: Data curation, Software. Xinxiao Zhang: Visualization, Investigation. Jianjun Wu: Conceptualization, Funding

acquisition, Project administration. Yixin Zhang: Methodology, Writing - review & editing, Funding acquisition.

List of references:

1. Wang W, Liu D, Tu Y, Jin L, Wang H. Enrichment of residual carbon in entrained-flow gasification coal fine slag by ultrasonic flotation. *Fuel* 2020;278:118195.
2. Guo F, Miao Z, Guo Z, Li J, Zhang Y, Wu J. Properties of flotation residual carbon from gasification fine slag. *Fuel* 2020;267:117043.
3. Du M, Huang J, Liu Z, Zhou X, Guo S, Wang Z, et al. Reaction characteristics and evolution of constituents and structure of a gasification slag during acid treatment. *Fuel* 2018;224:178-85.
4. Pan C, Liang Q, Guo X, Dai Z, Liu H, Gong X. Characteristics of different sized slag particles from entrained-flow coal gasification. *Energy & Fuels* 2016;30:1487-95.
5. Dai B, Wu X, Zhang J, Ninomiya Y, Yu D, Zhang L. Characteristics of iron and sulphur in high-ash lignite (Pakistani lignite) and their influence on long-term T23 tube corrosion under super-critical coal-fired boiler conditions. *Fuel* 2020;264:116855.
6. Miao Z, Wu J, Zhang Y, Zhao X, Guo F, Guo Z, et al. Physicochemical Characteristics of Mineral-Rich Particles Present in Fine Slag from Entrained-Flow Gasifiers. *Energy & Fuels* 2019;34:616-23.
7. Zhou C, Zhang Y, Wang J, Xue S, Wu J, Chang L. Study on the relationship between microscopic functional group and coal mass changes during low-temperature oxidation of coal. *International Journal of Coal Geology* 2017;171:212-22.
8. Peng B, Zhang H, Zhang Y. Investigation of the relationship between functional groups evolution and combustion kinetics of microcrystalline cellulose using in situ DRIFTS. *Fuel* 2019;248:56-64.
9. Mian I, Li X, Dacres OD, Wang J, Wei B, Jian Y, et al. Combustion kinetics and mechanism of biomass pellet. *Energy* 2020:117909.
10. Yu J, Guo Q, Ding L, Gong Y, Yu G. Studying effects of solid structure evolution on gasification reactivity of coal chars by in-situ Raman spectroscopy. *Fuel* 2020;270:117603.
11. Asadullah M, Zhang S, Min Z, Yimsiri P, Li C. Effects of biomass char structure on its gasification reactivity. *Bioresource technology* 2010;101:7935-43.
12. Guo F, Guo Y, Guo Z, Miao Z, Zhao X, Zhang Y, et al. Recycling Residual Carbon from Gasification Fine Slag and Its Application for Preparing Slurry Fuels. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 2020;8:8830-3
13. Wang G, Zhang J, Chang W, Li R, Li Y, Wang C. Structural features and gasification reactivity of biomass chars pyrolyzed in different atmospheres at high temperature. *Energy* 2018;147:25-35.
14. Wang X, Li S, Adeosun A, Li Y, Vujanović M, Tan H, et al. Effect of potassium-doping and oxygen concentration on soot oxidation in O₂/CO₂ atmosphere: A kinetics study by thermogravimetric analysis. *Energy conversion and management* 2017;149:686-97.
15. Tong W, Liu Q, Ran G, Liu L, Ren S, Chen L, et al. Experiment and expectation: Co-combustion behavior of anthracite and biomass char. *Bioresource technology* 2019;280:412-20.

Supervisor of study: professor Dr. Jianjun Wu

ГОДУНОВА Е.В.
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

ВЛИЯНИЕ АМФОТЕРНЫХ ПАВ НА ПОКАЗАТЕЛЬ МЕЖФАЗНОГО НАТЯЖЕНИЯ КИСЛЫХ СРЕД ПОСЛЕ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ

GODUNOVA E.V.
Gubkin Russian State University of Oil and Gas

EFFECT OF AMPHOTERIC SURFACTANTS ON THE INTERFACIAL TENSION INDEX OF ACIDIC MEDIA AFTER NEUTRALIZATION

В процессе кислотной обработки карбонатных коллекторов с целью увеличения нефтеотдачи происходит частичная и полная нейтрализация кислоты в ходе ее контакта с породой. Осадки, возникающие в ходе этой реакции, провоцируют кольматацию пористого пространства участков обработки и призабойной зоны пласта (ПЗП) в целом. Для предотвращения образования нерастворимых осадков в кислотные системы вводятся присадки в виде комплексообразующих соединений, препятствующих образованию сложных соединений в процессе вариации водородного показателя системы в пласте в ходе реакции нейтрализации. Контакт пластовой нефти с нейтрализованной кислой средой может так же способствовать образованию ряда осложнений, которые комплексоны не способны предотвратить. В ходе представленных исследований рассматривается возможность применения амфотерных поверхностно-активных веществ (ПАВ), что позволит поддержать минимальный показатель межфазного натяжения нейтрализованной среды кислотного состава при его контакте с пластовой нефтью в процессе обработки ПЗП.

Исследования технологической эффективности амфотерных ПАВ в процессах кислотных обработок ПЗП проводились в виде сравнительного анализа показателей межфазного натяжения систем соляной кислоты в присутствии исследуемых ранее марок ПАВ и после ее нейтрализации карбонатом кальция в виде порошка химически чистого.

Для проведения исследований была взята соляная кислота синтетическая неингибированная в концентрациях 10, 13, 16 и 20% масс. с введенным в нее модификатором на основе метилового, изопропилового спирта и уксусной кислоты в соотношении 1:1:0,5 соответственно с результирующей концентрации модификатора равной 7,5% масс. от общей массы исследуемых систем (100 г). Тестируемые ПАВ дозировались в концентрации 1,5% масс. от общей массы исследуемой системы каждого из образцов (данное количественное значение является эффективной концентрацией ПАВ, установленной в ходе работ с водными системами растворов).

Нейтрализация соляной кислоты углекислым кальцием описывается следующей схемой реакции:



Масса CaCO_3 , необходимая для нейтрализации исследуемых растворов, соответствует описанному выше мольному соотношению участников принципиальной схемы реакции и была рассчитана в зависимости от концентрации тестируемой кислоты. На рисунках 1 и 2 представлены результаты исследования показателей межфазного натяжения растворов на основе соляной кислоты различных концентраций

(10 - 20% масс.) до и после их полной нейтрализации порошком карбоната кальция на границе с керосином авиационным ТС-1 (методика ТНК-ВР).



Рисунок 1. Диаграмма изменения показателя межфазного натяжения соляной кислоты (НСI=10%) на границе с керосином при введении ПАВ разных марок до и после полной нейтрализации



Рисунок 2. Диаграмма изменения показателя межфазного натяжения соляной кислоты (НСI=13%) на границе с керосином при введении ПАВ разных марок до и после полной нейтрализации

Итогами исследований стало подтверждение актуальности использования амфотерных ПАВ в качестве выравнивающих агентов кислотных составов, препятствующих образованию нефте-кислотных эмульсий в ходе кислотной обработки ПЗП.

Список литературы:

1. ТНК-ВР Acid QAQC Standarts – Version 1.0, November 2006,
2. Силин М.А. Промысловая химия: Учебное пособие / М.А. Силин, Л.А. Магадова, Л.И. Толстых и др. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2016. – 350 с,
3. Цыганков В.А. Разработка кислотных составов для низкопроницаемых терригенных коллекторов с повышенным содержанием карбонатов: автореф. дис канд. техн. наук: 02.00.11. – М., 2011.

Научный руководитель: к.х.н., доцент И.Н. Гришина

ГРИГОРЬЕВ Е.А., ЛЮБУШКИН Т.Г.

Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева

**ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКИ
ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЫ TiO₂-SiO₂**

GRIGOREV E.A., LYUBUSHKIN T.G.

Mendeleev University of Chemical Technology of Russia

**STUDY OF THE HIGH-TEMPERATURE PROCESSING OF A BINARY TiO₂-SiO₂
SYSTEM**

В работе рассматриваются термодинамические процессы, протекающие в системе TiO₂-SiO₂ в диапазоне высоких температур.

Актуальность исследования

Роль соединений титана сложно переоценить. Высокая востребованность соединений титана и продуктов на их основе обусловлена их уникальными свойствами, среди которых можно выделить механическую прочность и высокую химическую устойчивость по отношению к большинству химических веществ. Эти материалы используются в различных отраслях человеческой деятельности (химическая промышленность, строительство, машиностроение и др.) [1].

Россия располагает поистине громадными запасами титанового сырья. До 40 % балансовых запасов титана (254 млн. тонн) депонированы в кварц-лейкоксовых песках Яредского нефтетитанового месторождения [1-2]. Кварц-лейкоксен – сложный титаносиликат трудно поддающийся переработке. К сожалению, единственным эффективным (но не рентабельным) способом переработки кварц-лейкоксена является селективное хлорирование. Множество процессов (автоклавное выщелачивание, магнетизирующий и восстановительный обжиг, фторидная гидрометаллургия) позволяют эффективно обескремнивать кварц-лейкоксен, но даже они не отменяют дальнейшего хлорирования. Помимо данные технологии характеризуются значительным потреблением коррозионно-активных реагентов и объемами образования сточных вод и отходов. В качестве наиболее перспективной технологии переработки можно выделить пирометаллургическую конверсию кварц-лейкоксена с получением химически активной фазы псевдобрукита [1].

В процессе обогащения и подготовки к переработке кварц-лейкоксовый концентрат проходит стадию отжига нефтепродуктов, в результате которой возможно изменение фазового состава с образованием химически устойчивых структур (взаимное прораствания диоксидов и пр.) [3].

Цели и методы исследования.

Целью данной работы являлось проведение термического анализа двойной системы оксидов TiO₂-SiO₂ (модельная смесь, имитирующая кварц-лейкоксен) с целью идентификации возможных процессов фазообразования.

Для проведения эксперимента эквимолярная смесь оксидов нагревалась до 1550°C. Синхронный термический анализ был проведен с помощью NETZSCH STA 449 F1 Jupiter.

Основная часть

Результаты синхронного термического анализа, полученные в ходе проведения эксперимента представлены на рисунке 1.

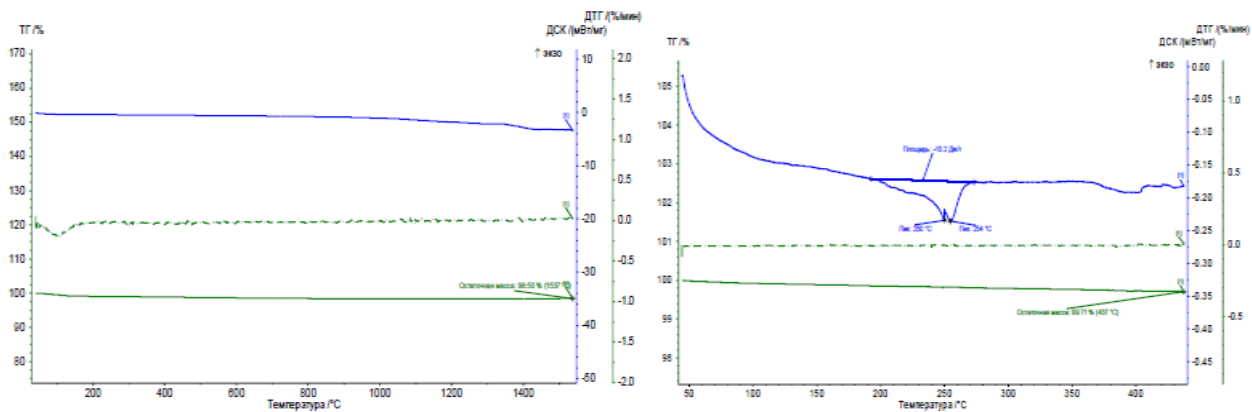


Рисунок 1. Термический анализ системы $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$

Значительных эффектов при совместном прокаливании эквимольных количеств диоксида титана и кремния не происходит. Наличие едва заметного эндоэффекта (-10 Дж/гр) в области температур 200 - 250°C, вероятно, обуславливается подплавлением кремнезема (SiO_2) и его преобразованием в другую аллотропную модификацию – кристобалит. Полученные в результате эксперимента данные хорошо согласуются с литературными источниками для аналогичных систем [4-5].

Выводы

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что при нагревании модельной системы $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ (кварц-лейкоксен) диоксид титана не претерпевает фазовых превращений и не образует новых фаз, а превращению подвергается лишь диоксид кремния. Таким образом можно сделать вывод, что предварительный отжиг нефтепродуктов, теоретически, не может оказывать влияние на химическую устойчивость кварц-лейкоксена. Проверка данной гипотезы на реальных образцах кварц-лейкоксена планируется в рамках дальнейших работ.

Список литературы:

1. Кузин Е. Н., Кручинина Н. Е., Фадеев А. Б., Носова Т. И. Принципы пирогидрометаллургической переработки кварц-лейкоксенового концентрата с формированием фазы псевдобрукита // *Обогащение руд*. 2021. № 3. С. 33-38
2. Кузин Е.Н., Носова Т.И., Любушкин Т.Г. Комплексная пирогидрометаллургическая технология переработки кварц-лейкоксенового концентрата // *Сб. тр. Успехи в химии и химической технологии Том XXXV, № 14 (249)*. С. 48-51.
3. Смороков А. А., Кантаев А. С., Брянкин Д. В., Миклашевич А. А. Разработка способа низкотемпературного обескремнивания лейкоксенового концентрата Ярегского месторождения раствором гидрофторида аммония. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2022. Т. 65. Вып. 2. С. 127–133.
4. Kirillova S. A., Almjashv V. I., Gusarov V. V. Phase relationships in the $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ system // *Russian Journal of Inorganic Chemistry*. – 2011. – V. 56. – №. 9. – P. 1464-1471.
5. Zhang Z. X. Activity Calculating Model of $\text{CaO-SiO}_2\text{-TiO}_2$ Molten Slag // *Solid State Phenomena*. – Trans Tech Publications Ltd, 2018. – V. 279. – P. 92-96.

Научные руководители: к.т.н., доцент Е.Н. Кузин; к.т.н., доцент И. Г. Мокрушин

ГРИШИН И.С.

Ивановский государственный химико-технологический университет

АДСОРБЕНТЫ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЙОКСИУГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

GRISHIN I.S.

Ivanovo State University of Chemistry and Technology

ADSORBENTS BASED ON SILICON OXYCARBIDE COMPOSITES FOR CARBON DIOXIDE REMOVAL

Диоксид углерода является парниковым газом, выбросы которого вносят значительный вклад в глобальное потепление, приводящее к изменению климата. К основным источникам выбросов CO_2 относят электростанции, работающие на ископаемом топливе, а также нефтегазовые, химические и металлургические предприятия. В связи с ростом спроса на энергию снижение уровня выбросов углекислого газа является актуальной задачей. В настоящее время предложен ряд технологических решений для улавливания и хранения двуокиси углерода (УХУ).

Основная задача УХУ заключается в отделении CO_2 от промышленных и энергетических источников, транспортировку к месту хранения и долгосрочную изоляцию от атмосферы. Улавливание CO_2 является ключевым компонентом, вклад которого в структуре общих затрат на УХУ оценивается на уровне 70-80%. Технологии улавливания углекислого газа подразделяются на три основные группы: после сжигания, до сжигания и сжигание обогащенного кислородом топлива. Улавливание после сжигания топлива направлено на поглощение CO_2 из выбросов электростанций и промышленных предприятий. Улавливание до сжигания требуется в процессах, связанных с получением водорода на основе ископаемого сырья, в частности природного газа. Такой подход является более перспективным, так как способствует переходу на водородную энергетику.

Для удаления CO_2 могут быть использованы абсорбция, адсорбция, мембранные и криогенные технологии. В настоящее время в промышленности активно применяется абсорбция углекислого газа различными аминами и раствором поташа. Однако этот способ имеет ряд существенных недостатков: высокие энергетические затраты на регенерацию абсорбента, коррозия оборудования и потери абсорбента вследствие химической или термической деградации, особенно в случае использования аминов. По этой причине ведется активное изучение возможности применения других методов для поглощения двуокиси углерода.

Перспективной технологией для улавливания CO_2 является адсорбция. Этот метод обладает высоким потенциалом в связи с высокой энергетической эффективностью вкуче с относительно невысокими затратами на оборудование. Кроме того, в сравнении с абсорбцией углекислого газа аминами не происходит выделение токсичных и коррозионноактивных соединений. Установлено, что на эффективность адсорбции как метода улавливания CO_2 оказывает влияние ряд ключевых факторов: выбор адсорбента, способ его регенерации, а также конфигурация адсорбера. К выбору адсорбента предъявляются особые требования, среди которых селективность и адсорбционная емкость по отношению к CO_2 , скорость адсорбции/десорбции и т.д. Так,

для поглощения CO_2 могут применяться активированные угли, цеолиты, диоксид кремния, модифицированный аминами, металлоорганические комплексы. В современных установках короткоциклового адсорбции уже применяются активированные угли и цеолиты, производимые в промышленных масштабах. Тем не менее, эти адсорбенты восприимчивы к водяным парам и другим примесям, содержащимся в очищаемой газовой смеси, что приводит к снижению адсорбционной емкости по отношению к CO_2 . В связи с этим разрабатываются новые адсорбционные системы, которые имеют специфическую пористую структуру и химию поверхности, обеспечивающие эффективное удаление диоксида углерода даже в присутствии примесей.

Новым классом адсорбентов для улавливания CO_2 могут стать кремнийоксиуглеродные композиты (SiOC). Эти материалы, основным компонентом которых являются оксикарбиды кремния, представляют собой продукты внедрения углерода в сетевую структуру силикатов. В этой сетевой структуре атомы кремния тетраэдрически связаны с атомами кислорода и углерода, формируя тем самым трехмерные ковалентные структуры с общей формулой $\text{SiO}_x\text{C}_{4-x}$, где x может принимать значения от 1 до 4. В соответствии с этой формулой в структуре кремнийоксиуглеродных композитов могут присутствовать SiO_4 , SiO_3C , SiO_2C_2 , SiO_3C и SiC_4 . Так как лишь часть атомов углерода связана в указанных структурных единицах, присутствует также фаза сегрегированного sp^2 -гибридизированного углерода, который диспергирован в матрице SiOC . Благодаря такой структуре кремнийоксиуглеродные композиты обладают повышенной механической прочностью, термической и химической устойчивостью. Кроме того, такие материалы могут иметь развитую пористую структуру.

Таким образом, целью данной работы являлось исследование адсорбционной эффективности пористых кремнийоксиуглеродных композитов в процессе удаления диоксида углерода из газовых смесей.

Кремнийоксиуглеродные композиты были получены посредством механохимического синтеза по следующей методике. Несколько смесей исходных материалов – активированного угля и белой сажи – с различным массовым соотношением подвергались механической обработке в течение 15 минут в роликокольцевой вибромельнице. Образцы были проанализированы с использованием различных экспериментальных методов, среди которых рентгеновская дифракция, ИК-спектроскопия, низкотемпературная адсорбция/десорбция азота, потенциометрическое титрование и синхронный термический анализ. Адсорбционную емкость по отношению к CO_2 оценивали посредством термопрограммируемой десорбции.

В работе подтверждено, что механохимический синтез является перспективным способом получения различных материалов с уникальными свойствами. Подобный процесс – синтез пористых кремнийоксиуглеродных композитов – может быть осуществлен при невысокой температуре, используя активированный уголь и белую сажу в качестве сырья. Получаемые таким образом материалы обладают однородной аморфной структурой, что связано с особенностями твердофазного взаимодействия в условиях механического нагружения. При этом вследствие наложения частиц белой сажи на частицы активированного угля формируется сетевая архитектура Si-O , благодаря чему возможно дальнейшее образование связей Si-O-C , характерных для оксикарбидов кремния. Эти соединения выступают связующим звеном между активированным углем и белой сажой, формируют композитную структуру. Как показали результаты исследования химии поверхности полученных материалов,

образование оксикарбидов кремния может быть результатом взаимодействия функциональных группировок активированного угля и белой сажи, в первую очередь фенольных, карбоксильных и силанольных. Кремнийоксиуглеродные композиты, синтезированные механохимически, также обладают пористой структурой, параметры которой можно регулировать, изменяя состав исходной смеси, подвергаемой механической обработке. Так, было показано, что при небольших концентрациях белой сажи, существенную долю в объеме пор занимают микропоры. При дальнейшем увеличении концентрации белой сажи получаемые композиты становятся мезопористыми. Исследования адсорбционной эффективности кремнийоксиуглеродных композитов при поглощении диоксида углерода показали, что с ростом массовой доли белой сажи в исходной смеси имеется тенденция к увеличению их адсорбционной емкости. Ключевым фактором в данном случае является химия поверхности композитных материалов, которая при высоком содержании белой сажи представлена в основном различными силанолами. Между этими группами и молекулами диоксида углерода возможно формирование слабой связи, что подтверждено данными ИК-спектроскопии.

Работа выполнена в рамках государственного задания на выполнение НИР (Тема № FZZW-2020-0010). Исследование проведено с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием ИГХТУ (при поддержке Минобрнауки России, соглашение № 075-15-2021-671).

Научный руководитель: д.т.н., профессор Н.Н. Смирнов

ГРИШИН П.Ф.

Полоцкий государственный университет

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОТБЕЛИВАЮЩЕЙ ГЛИНЫ В КАЧЕСТВЕ
СОРБЕНТА. АНАЛИЗ ЕЁ СВОЙСТВ С ПОМОЩЬЮ АДСОРБЦИИ АЗОТА И
ПАРОВ ВОДЫ**

HRYSHYN P.F.

Polotsk State University

**PROSPECTS FOR APPLICATION OF BLEACHING CLAY AS A SORBENT.
ANALYSIS OF ITS PROPERTIES USING THE ADSORPTION OF NITROGEN AND
WATER VAPOR**

Природные глины очень дешевы и широко распространены в природе, поэтому их широко применяют в контактных процессах очистки смазочных масел в качестве отбеливающих агентов. Они приобретают высокую отбеливающую способность после сернокислотной активации и сушки при температуре не выше 100-120°C. Для процессов каталитического крекинга глину после сернокислотной активации прокалывают при 580-600°C; теряя отбеливающую способность, они приобретают каталитическую способность и полностью сохраняют ее в течение длительного времени. [1,2].

Для природных бентонитовых глин характерна физическая и молекулярная сорбция. Физическая сорбция обусловлена наличием избыточного отрицательного заряда на гранях кристаллов и поверхностных гидроксидных групп кислого и основного характера, способных к ионизации. При молекулярной сорбции сорбируемые вещества располагаются между плоскостями пакетов, разрушая первоначальные аквакомплексы, не изменяя строения самих слоев [3].

Бентонитовые глины нашли свое применение в качестве осветляющих сорбентов процессах очистки вод, масел, жиров, вин, приготовления медицинских препаратов.

В адсорбционных процессах очистки нефтепродуктов значительную роль играют следующие характеристики адсорбента: размер частиц адсорбента, его пористость и удельная поверхность [4].

При изучении удельной поверхности и пористости сорбентов применяется адсорбция газов, а именно азота при температуре 77К и воды при температуре 293К.

Данные исследования актуальны при выборе наиболее подходящего сорбента для процесса адсорбционной очистки, анализе его характеристик до и после проведенного процесса.

В качестве объекта исследований, использовалась активированная гранулированная бентонитовая глина, в состав которой входят оксиды кремния, алюминия и железа. Образец был предварительно подготовлен при температуре 500°C в течение 2 часов в муфельной печи с целью удаления частиц воды.

Исследования проводились с использованием электронного анализатора поверхности. Была проведена подготовка образца путем дегазации методом вакуумирования при температуре 180 °С в течении 2-х часов. с последующим получением и анализом изотерм адсорбции/десорбции азота при температуре 77К и паров воды при температуре 293К.

Результаты исследования анализировались при помощи следующих методик:

1. Метод ВЕТ, позволяющий рассчитать площадь поверхности адсорбента, а также средний диаметр пор.

2. Метод ВЈН позволяет определить суммарный объем мезопор и их средний диаметр.

3. Метод МР используется для определения суммарного объема микропор и их среднего диаметра.

Результаты исследования представлены в виде изотерм адсорбции/десорбции азота и паров воды бентонитовой глиной на рисунке 1 и таблице 1.

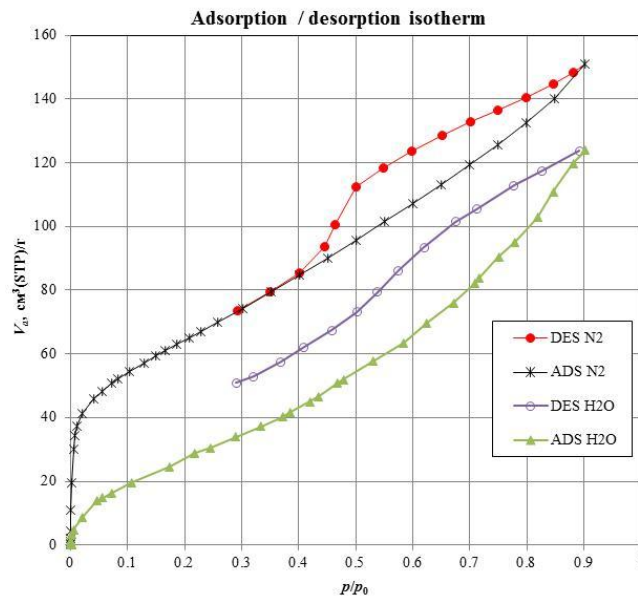


Рисунок 1. Изотермы адсорбции/десорбции азота и паров воды бентонитовой глиной

V_a , cm^3 (STP)/г – Количество адсорбированного газа, выраженное в объеме газа в стандартном состоянии (стандартное давление: 273,15 К, 101,3 кПа) на 1 г адсорбента
 p / p_0 – Относительное давление (p_0 - давление насыщенного пара адсорбтива при температуре измерения).

Таблица 1. Характеристики бентонитовой глины

Показатель	Значение
Удельная площадь поверхности по методу BET, $\text{m}^2/\text{г}$ (N_2 , 77К)	229,52
Средний диаметр пор по методу BET, нм (N_2 , 77К/ H_2O , 293К)	4,0716/4,0035
Соотношение констант скорости (адсорбции/десорбции) по методу Ленгмюра, (N_2 , 77К/ H_2O , 293К)	2,5435/2,6589
Суммарный объем мезопор по методу ВЈН, $\text{cm}^3/\text{г}$ (N_2 , 77К)	0,2432
Средний диаметр мезопор по методу ВЈН, нм (N_2 , 77К)	3,1924
Суммарный объем микропор по методу МР, $\text{cm}^3/\text{г}$ (N_2 , 77К)	0,1032
Средний диаметр микропор по методу МР, нм (N_2 , 77К)	1,8762
Потенциальная энергия адсорбции по методу DA, кДж/моль (N_2 , 77К/ H_2O , 293К)	2,2347/4,6051

Проанализировав изотермы адсорбции/десорбции, можно заметить присутствие петли капиллярно-конденсационного гистерезиса. Данное явление происходит, когда конденсации на стенках цилиндрической поры приводит к уменьшению её диаметра, пора мгновенно заполняется при достижении давления начала конденсации. На концах поры образуются сферические мениски жидкости. Десорбция начинается только при давлении, соответствующем радиусам кривизны этих менисков, опорожнение капилляра происходит при меньшем давлении, чем его заполнение. Адсорбент является преимущественно мезопористым [5].

Исследования показали, что константа скорости сорбции и энергия адсорбции воды выше, чем азота. Адсорбент является полярным, следовательно, вода на полярном адсорбенте сорбируется более интенсивно, чем азот.

Список литературы:

1. Коваленко В.П. Загрязнение и очистка нефтяных масел. — М.: Химия. — 1978. — 304 с.
2. Давидянц А.А., Первушкин И.И. Производство катализаторов крекинга и высокоактивных силикагелей. — М.: Химия. — 1972. — 168 с.
3. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Химия. — 1984. — 592 с.
4. Ахметов, С.А. Физико-химическая технология глубокой переработки нефти и газа: учебное пособие. Ч.1 – Уфа: Изд-во УГНТУ, 1996. – 279 с.
5. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1988.– 464 с.

Научный руководитель: к.т.н., доцент А.А. Ермак

ДОЛГИХ В.Д., ГРИШИН А.В., ПАШИН А.В.
Самарский государственный технический университет

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПИРОЛИЗА МЕТАНА С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА

DOLGIKH V.D., GRISHIN A.V. PASHIN A.V.
Samara State Technical University

EXPERIMENTAL RESEARCH OF PROCESS OF METHANE PYROLYSIS AIMING TO GET THE HYDROGEN

Непрерывное и повсеместное использование ископаемых топлив в качестве источников энергии вызывает опасения в виду того, что ресурсы истощаются, а также происходит выброс парниковых газов в атмосферу, что в свою очередь усугубляет парниковый эффект.

Существует несколько путей производства водорода из топлива:

- паровой риформинг метана;
- частичное окисление углеводородов;
- крекинг метана;
- газификация угля;
- электролиз воды [1,2]

Основным недостатком первых четырех методов является выброс в атмосферу CO₂. [3]. В этом случае необходимы меры по его улавливанию, а в дальнейшем и удерживание в специальных хранилищах, что в свою очередь влечет дополнительные затраты на этот процесс. Электролиз имеет преимущества перед этими методами, так как данный процесс связан с нулевым выбросом CO/CO₂, однако он не экономичен, чтобы вытеснить другие способы производства H₂.

Крекинг метана – это эндотермическая реакция, протекающая при высоких температурах. Теоретически, когда температура выше 300 °С, метан начинает

разлагаться на газообразный H_2 и твердые углеродные частицы без катализатора. Для некаталитического крекинга метана необходима температура выше $1200\text{ }^\circ\text{C}$ в связи с кинетическими ограничениями и высокими энергиями активации, необходимыми для разрыва стабильных связей $C - H$ в молекулах метана [4]. Таким образом, снижение энергии активации возможно при добавлении специальных катализаторов, и каталитическое разложение метана будет происходить при температуре $600-900\text{ }^\circ\text{C}$. В этой связи в настоящей работе выполнены экспериментальные исследования на установке пиролиза метана с никель-хромовым катализатором.

Испытания проводились на опытно-лабораторном стенде генерации водорода путём пиролиза метана в присутствии никель-хромового катализатора. Экспериментальные данные, полученные при испытании опытно-лабораторного стенда генерации водорода, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты испытаний опытно-лабораторного стенда генерации водорода

Наименование показателя	Величина показателя	
Подача метана, нл/час	5	
Температура конверсии, $^\circ\text{C}$	600 – 1 испытание; 700 – 2 испытание.	
Давление на входе в реактор, ата	1,5	
Конверсия метана, %	30 – 1 испытание; 57 – 2 испытание.	
Потребление энергии, кВтч/м ³	100	
Стоимость получения водорода, руб/м ³	500	
Состав продуцируемого газа (испытание № 1), % об	H_2	22
	CH_4	70
	$C_2H_6 + C_2H_4 + C_2H_2$	8
	$CO + CO_2$	0
Состав продуцируемого газа (испытание № 2), % об	H_2	45
	CH_4	43
	$C_2H_6 + C_2H_4 + C_2H_2$	12
	$CO + CO_2$	0

Заметная конверсия метана начинается уже при температуре газа $600\text{ }^\circ\text{C}$. Обнаружение в продуктах этана, этилена и ацетилена объясняется малым временем пребывания сырьевого газа в реакторе. Дополнительную конверсию этана, этилена и ацетилена можно реализовать путем увеличения времени пребывания, температуры сырьевого газа или за счет использования различных катализаторов.

Выводы

В ходе исследований каталитического крекинга метана с использованием твердых металлов и углеродосодержащих катализаторов была выявлена проблема, связанная с дезактивацией катализаторов и методами регенерации. Основной проблемой является закоксование в реакторе, которое может блокировать непрерывность процесса.

Список литературы:

1. Kothari, R.; Buddhi, D.; Sawhney, R.L. Comparison of environmental and economic aspects of various hydrogen production methods. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2008, 12, 553–563.
2. Holladay, J.D.; Hu, J.; King, D.L.; Wang, Y. An overview of hydrogen production technologies. *Catal. Today* 2009, 139, 244–260.
3. Abánades, A. The challenge of Hydrogen production for the transition to a CO₂-free economy. *Agron. Res.* 2012, 10, 11–16.
4. Muradov, N.; Smith, F.; Huang, C.; T-Raissi, A. Autothermal catalytic pyrolysis of methane as a new route to hydrogen production with reduced CO₂ emissions. *Catal. Today* 2006, 116, 281–288.

Научный руководитель: д.т.н., профессор И.В. Кудинов

ЕРОХИН И.А.

Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)

ИЗУЧЕНИЕ СТЕХИОМЕТРИИ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ ДИСПРОЗИЯ МОНО-2-ЭТИЛГЕКСИЛОВЫМ ЭФИРОМ 2-ЭТИЛГЕКСИЛФОСФОНОВОЙ КИСЛОТЫ (P507)

EROKHIN I.A.

Saint-Petersburg State Institute of Technology

STUDY OF THE STOICHIOMETRY OF THE PROCESS OF DYSPROSIUM EXTRACTION BY MONO-2-ETHYLHEXYL ESTER 2- ETHYLHEXYLPHOSPHONIC ACID (P507)

В состав отработавших неодимовых магнитов может входить до 5% диспрозия (Dy). В настоящее время ведется большое количество исследований по переработке таких магнитов [1]. В настоящей работе изучен процесс экстракции хлорида диспрозия раствором $0,75 \pm 0,01$ моль/л моно-2-этилгексилового эфира 2-этилгексилфосфоновой кислотой (P507) в инертном разбавителе. Экстракционный способ является основным способом получения чистых индивидуальных редкоземельных металлов. Хорошо изучена экстракция РЗЭ катионообменными экстрагентами [2-3].

Эксперимент проведен контактом экстрагента в кислой форме при комнатной температуре с растворами DyCl₃ в диапазоне концентраций от 0,05 до 1,6 моль/л при отношении О/В=1. Результаты представлены на рисунке 1.

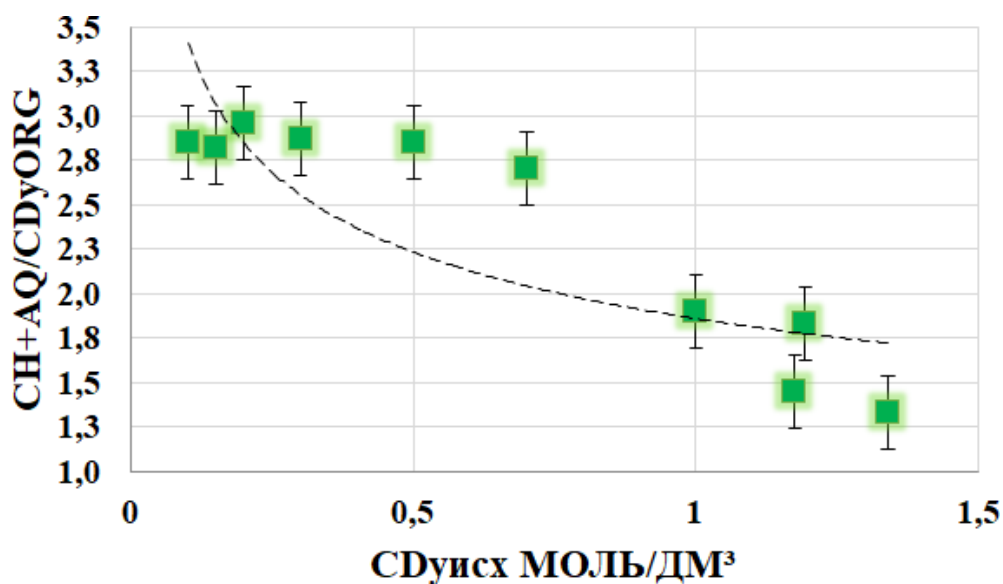


Рисунок 1. Количество выделившихся в водную фазу протонов после процесса экстракции хлорида диспрозия экстрагентом на основе P507

Из рисунка видно, что при увеличении исходной концентрации диспрозия, количество перешедших в водную фазу протонов, при экстракции одного моль металла, меняется. При экстракции из исходного раствора, содержащего от 0,05 до 0,8 моль/дм³ диспрозия, выделяется 3 протона, а при содержании диспрозия от 1 до 1,6 моль/дм³ количество протонов 2 и менее. Таким образом, возможный состав экстрагируемого комплекса в первом случае может отвечать составу $[Dy(HA_2)_2]$, что соответствует данным, описанным в работе [1], при использовании схожего по структуре экстрагента. При увеличении содержания диспрозия свыше 0,8 моль/дм³ диспрозий может извлекаться в форме $[Dy(HA_2)_2Cl]$, $[DyHA_2]Cl_2$, или полиядерных комплексов состава $[Dy_n(HA_2)_m]$. Извлечение диспрозия в данных формах, позволит значительно увеличить фактор разделения пары Dy/Nd и эффективно выделять диспрозий из отработавших магнитов.

Список литературы:

1. Solvent extraction, separation and recovery of dysprosium (Dy) and neodymium (Nd) from aqueous solutions: Waste recycling strategies for permanent magnet processing / Ho-Sung Yoon, Chul-Joo Kim, Kyeong-Woo Chung // Hydrometallurgy. – 2016. – V. 165 Part 1. – P. 27-43
2. Separation Hydrometallurgy of Rare Earth / J. Zhang, B. Zhao, B. Schreiner // Springer. – 2016. – P. 79-99;
3. El-Hefny N. E. Comparative studies on Y (III) and Dy (III) extraction from hydrochloric and nitric acids by Cyanex 572 as a novel extractant / N.E. El-Hefny, M.S. Gasser, S.S. Emam, W.H. Mahmoud, H.F. Aly // Journal of Rare Earths. – 2018. – V. 36. – №. 12. – P. 1342-1350.

Научный руководитель: к.х.н., доцент М.А. Афонин

ЕФИМОВ И.И.

Санкт-Петербургский горный университет

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ
ГЕКСАН-АЦЕТОНИТРИЛ В АНАЛИЗЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

EFIMOV I.

Saint Petersburg Mining University

**THE USE OF PARTITION COEFFICIENTS IN THE HEXANE-ACETONITRILE
SYSTEM IN THE ANALYSIS OF PETROLEUM PRODUCTS**

В работе предлагается обоснование и экономическая оценка создания и использования резервного фонда нефтепродуктов на территории Северо-Запада России.

Актуальность исследования вызвана потребностью точного определения состава нефтепродуктов. Химический состав среднестиллятных нефтяных фракций является их важнейшим параметром, который влияет на методы дальнейшей переработки, условия хранения и транспортировки. Компоненты дистиллятных продуктов замедленного коксования состоят из различных классов углеводородных соединений: алканы, циклоалканы, алкены, ароматические углеводороды, а также различные гетероциклические соединения, содержащие кислород, серу и азот. Групповой углеводородный состав зависит от происхождения нефтяной фракции. Прямогонные фракции в основном представлены n-алканами, фракции термодеструктивных процессов богаты непредельными, моно- и полиароматическими соединениями. При этом особое внимание необходимо уделять именно полиароматическим углеводородам (ПАУ) так как от их количества во многом зависит требуемая глубина протекания реакций гидрооблагораживания в последующей переработке для получения экологически чистых моторных топлив. Не менее важным является и влияние ПАУ на свойства моторных топлив. Так в случае дизельного топлива ПАУ увеличивают склонность к нагарообразованию, являются основной причиной выбросов твердых частиц в атмосферу в результате работы дизельного двигателя. Также ПАУ являются высокотоксичными соединениями. Вышеприведенные факты обуславливают важность анализа ПАУ как в товарных топливах, так и в различных полупродуктах термодеструктивных процессов.

Анализ подобных многокомпонентных систем невозможен без применения хроматографии. Чаще всего для анализа различных нефтепродуктов используют капиллярную газовую хроматографию с FID или MS детектором. В случае использования FID детектора идентификация пиков происходит по их индексам удерживания, чего достаточно в простых системах, но в нефтяных и топливных системах с большим количеством изомерных и близко кипящих веществ такая операция затруднительна. При использовании MS детектора появляется дополнительный идентификационный параметр – масс-спектр, который позволяет проводить идентификацию компонентов с использованием библиотек масс-спектров. Однако даже использование MS детектора сталкивается с несколькими проблемами – наложением пиков и недостаточной достоверностью идентификации некоторых веществ. Наложение пиков серьезно затрудняет анализ непредельных и ароматических углеводородов, т.к. они часто перекрываются алканами (основным компонентом среднестиллятных углеводородных топлив). К тому же при помощи масс спектров чаще всего невозможно проводить идентификацию изомерных углеводородов, так как они имеют очень схожие

спектры, которые в следствии наложения сигнала соседних пиков и шума делают невозможным подобную идентификацию.

В настоящее время предпринимаются различные попытки улучшения качества анализа тяжелых высококипящих нефтяных фракций. Наиболее перспективным представляется применение двухмерной хроматографии (GCxGC). В данном методе анализа используются две хроматографические колонки с различной полярностью, что позволяет разделить компоненты, которые плохо делятся на стандартной неполярной колонке. Данный метод позволяет получить на порядок большее количество пиков по сравнению с одномерной хроматографией. В случае использования этого метода для анализа топливных фракций можно достаточно просто производить групповую идентификацию соединений. Также эффективно данный метод работает в случае анализа азот- и кислородсодержащих соединений. Основным недостатком метода является необходимость дополнительного дорогостоящего оборудования, которое существенно увеличивает сложность и стоимость анализа. Также остается и проблема с идентификацией веществ, для которой необходимо знать эталонные индексы удерживания. Однако значения индексов удерживания существенно зависят как от фазы колонки, так и от температурной программы.

Оба вышеприведённых метода требуют наличия дополнительного оборудования, однако можно повысить качество анализа без его использования. В качестве такого метода можно использовать газовую хроматографию с распределением между двумя фазами. В основе анализа лежит селективное экстракционное извлечение компонентов с последующим раздельным анализом двух фаз. При этом решается сразу две проблемы. Во-первых, за счет подбора растворителей можно уменьшить влияние наложения пиков, например, можно подобрать растворитель, который хорошо растворяет непредельные и ароматические соединения, но плохо растворяет алканы. Во-вторых, появляется дополнительный идентификационный признак – коэффициент распределения, который является чувствительным к структуре соединения. В случае использования GCMS у исследователя появляется три независимых идентификационных признака – время удерживания, масс-спектр и коэффициент распределения. Основной сложностью подобного анализа методом является необходимость наличия базы данных коэффициентов распределения в выбранной системе растворителей. В случае простых систем коэффициенты можно определить экспериментально, но это практически невозможно для многокомпонентных углеводородных нефтяных (топливных) систем, так как количество анализируемых компонентов слишком велико. Часто для предсказания коэффициентов используются различные полуэмпирические и регрессионные модели, но для их использования необходима дополнительная информация о свойствах вещества. В связи с этим встает вопрос поиска метода предсказания коэффициентов распределения, для чего можно использовать групповые модели растворов. Самой распространенной моделью является UNIFAC (UNIQUAC Functional-group Activity Coefficients), которая широко используется при моделировании ректификации и экстракции в нефтехимии^{22,23}. В рамках данной модели возможно расчетное определение коэффициентов распределения углеводородов любого состава.

Основным результатом данной работы является разработка рабочей методологии применения хромато-распределительного метода в сочетании с модельными расчетами для идентификации полиароматических углеводородов продуктов замедленного коксования.

Научный руководитель: д.х.н. В.Г. Поваров

ИВАНОВА Е.В., ПОЛЕССКАЯ В.Е.
Санкт-Петербургский горный университет

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ГЕОПОЛИМЕРОВ ИЗ ВТОРСЫРЬЯ

IVANOVA E.V., POLESSKAYA V.E.
Saint Petersburg Mining University

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR OBTAINING POLYMERS FROM RECYCLABLE MATERIALS

Целью данной работы является разработка составов и технологий получения геополимеров на основе полиэтилентерефталата. Исследования были направлены на улучшение физико-химических свойств нефтяных битумов.

В настоящее время большое внимание уделяется вопросам вторичной переработки полимерных материалов. Рециклинг позволяет осуществлять возврат ценного полимерного сырья в технологический цикл производства, что снижает нагрузку на окружающую среду. Рост промышленного производства, интенсивное развитие городов способствуют увеличению использования природных ресурсов и повышению уровня потребления производимой продукции, что в свою очередь приводит к истощению природных ресурсов и образованию промышленных, бытовых и иных видов отходов. Совокупность данных процессов может привести к экологической катастрофе [1].

Отсутствие экономически эффективной технологии переработки загрязненного вторичного сырья в Российской Федерации является основной экологической проблемой. Однако проблема переработки отходов полимерных материалов актуальна не только с точки зрения охраны окружающей среды, но и связана с тем, что в условиях дефицита полимерного сырья пластмассовые отходы становятся мощным сырьевым и энергетическим ресурсом. Для современной нефтеперерабатывающей отрасли характерно наличие проблемы повышения качества битумов с целью увеличения надежности и долговечности дорожных покрытий. Проблему необходимо решать в точке взаимодействия технологий производства и переработки, что позволит согласовать физико-химические показатели первичного полимера для его переработки и создания качественного вторсырья [2].

Основными задачами современной нефтяной отрасли является повышение эффективности переработки нефти, качества получаемых нефтепродуктов и комплексной модернизации нефтеперерабатывающей промышленности. Ужесточение экологических требований и непрерывный рост потребности к долговечности дорожных покрытий способствуют модернизации действующих технологий производства. Одним из наиболее перспективных направлений улучшения свойств битумов являются технологии модифицирования добавками, позволяющая усовершенствовать физические характеристики дорожного вяжущего [3].

Объектом исследования является полиэтилентерефталат в виде выбывших из употребления загрязненных бутылок ПЭТ, измельченных на хлопья размером 10 мм. В качестве модификатора к битуму были получены магниевые и кальциевые соли терефталевой кислоты. Основной эксплуатационный показатель качества битумов,

определяющий его термостойкость – температура размягчения, метод определения которой проводился в соответствии с ГОСТ 11506–73 [4].

Выводы по работе:

- Продукты химической переработки полиэтилентерефталата являются перспективной добавкой к нефтяным битумам. Использование кальциевых и магниевых солей терефталевой кислоты в битумных материалах улучшает физические свойства асфальтобетонной смеси с точки зрения пластической деформации при оптимальном подборе концентраций вторичных отходов ПЭТ.

- Улучшение свойств битума наблюдается при вводе полимерного модификатора в количестве 1%, однако максимальный эффект происходит при 3%, что является оптимальным решением, так как последующее увеличение содержания полимера не приводит к значительным изменениям битумных характеристик.

- Сравнением экспериментальных значений установлено, что кальциевые добавки в сравнении с магниевыми производными продуктов частичного гидролиза отходов ПЭТ являются более эффективными.

- Обобщением полученных результатов исследований (повышение температуры размягчения) свидетельствуют о перспективности использования разработанных добавок в качестве модификаторов битума;

- Достоинством данного метода является возможность переработки низкокачественного сырья. При большом объеме производства процесс является относительно экономичным.

Список литературы:

1. Петрова Т.А. Оценка и предотвращение негативного воздействия полигонов по захоронению промышленных и бытовых отходов на окружающую среду // Записки Горного института. 2013. (203). С. 94.
2. Веселова Ю.А. Организационно-правовые вопросы утилизации и переработки твердых бытовых отходов // Записки Горного института. 2014. (208). С. 14.
3. Кондрашева Н.К., Рудко В.А., Назаренко М.Ю., Габдулхаков Р.Р. (2020). Влияние параметров процесса замедленного коксования асфальта на выход и качество жидких и твердофазных продуктов. Записки Горного института, 241, 97. <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.1.974>.
4. ГОСТ 11506-73. – 1974. Битумы нефтяные. Метод определения температуры размягчения по кольцу и шару. Взамен ГОСТ 11506-65; введ. 01.07.1974. – Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации. – 7 с.

Научный руководитель: к.т.н., ассистент Е.В. Киреева

ИВАНОВА М.И.

Казанский национальный исследовательский технологический университет

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АСФАЛЬТЕНОВ НА ЭМУЛЬГИРУЕМОСТЬ
НЕФТЯНЫХ БИТУМОВ**

IVANOVA M.I.

Kazan National Research Technological University

**EVALUATION OF THE INFLUENCE OF ASPHALTEN ON THE EMULSIBILITY
OF PETROLEUM BITUMENS**

В работе оценено влияние содержания асфальтенов в нефтяных дорожных битумах на свойства водо-битумных эмульсий (ВБЭ) на их основе.

Использование водо-битумных эмульсий имеет ряд преимуществ в сравнении с традиционными вязкими битумными вяжущими. Главным преимуществом ВБЭ является экономия ресурсов и энергозатрат: экономия вяжущего при использовании водо-битумных эмульсий составляет 20-40 %, а сокращение энергозатрат осуществляется за счет возможности применения битумных эмульсий в «холодном» виде. Общая себестоимость работ при этом может сокращаться за счет расширения сезона использования ВБЭ: от весны до поздней осени. Также использование водо-битумных эмульсий сокращает негативное воздействие на окружающую среду, так как их применение не предполагает нагрев материалов, что исключает выброс вредных веществ в атмосферу [1,2].

При разработке водо-битумных эмульсий важно исследовать влияние свойств используемых битумов на получаемые эмульсии. В работе изучено влияние содержания асфальтенов в нефтяных дорожных битумах на их эмульгируемость и качество получаемых на их основе водо-битумных эмульсий. Для этого были получены модельные битумы с содержанием асфальтенов от 16,9 до 25 % мас. на основе битума нефтяного дорожного марки БНД 90/130. Эмульгирование производилось при помощи лабораторной коллоидной мельницы с использованием поверхностно-активных веществ (ПАВ) катионного типа Дорос-ЭМ и Амдор-ЭМ. Состав ВБЭ и оценка эмульгируемости битумов приведена в таблице 1.

Таблица 1. Оценка эмульгируемости водо-битумных эмульсий

№ модельной битумной системы для создания ВБЭ	Содержание асфальтенов в битумах, %	Содержание компонентов в ВБЭ, % мас.				Эмульгируемость битумов	
		Битум	Вода	НСI	Эмульгатор	Амдор-ЭМ ¹	Дорос-ЭМ ²
Исходный битум (0)	16,9	50	48,75	0,25	1	+	+
1	18	50	48,75	0,25	1	+	+
2	21	50	48,75	0,25	1	+	+
3	23	50	48,75	0,25	1	+	+
4	25	50	48,75	0,25	1	+	+

Согласно данным таблицы 1 получение водо-битумных эмульсий на основе битумов с содержанием асфальтенов до 25% мас. возможно. Оценка качества водо-битумных эмульсий проводилась в соответствии с ГОСТ 58952.1 – 2020 по следующим показателям: остаток на сите, условная вязкость, скорость распада, расслоение, устойчивость при хранении, содержание вяжущего с эмульгатором, адгезия.

Полученные данные об основных свойствах катионных водо-битумных эмульсий на основе исходного битума и различных модельных битумных систем представлены таблице 2. Показатель адгезии для всех эмульсий соответствует требованиям стандарта.

Таблица 2. Основные характеристики ВБЭ на основе катионных эмульгаторов и модельных битумных систем

№ модельной битумной системы для создания ВБЭ	Остаток на сите, %	Индекс распада, г/100г	Условная вязкость, с	Расслоение в течение 7 суток, %	Остаток на сите после 7 суток, %	Среднее значение содержания вяжущего, %
ВБЭ с ПАВ – Амдор-ЭМ						
0 ¹	0,01	284,1	11,67	2,86	0	55
1 ¹	0,01	275,49	12,14	1,71	0,01	46,95
2 ¹	0,04	290,98	11,38	5,14	0	57,5
3 ¹	0	287,30	11,64	9	0	40,6
4 ¹	0,01	296,25	12,48	9,3	0	47,08
ВБЭ с ПАВ – Дорос-ЭМ						
0 ²	0,01	254,10	13,55	1,86	0	50,08
1 ²	0	273,96	14,44	2,7	0,01	51,35
2 ²	0	283,73	13,67	3	0	47,93
3 ²	0,01	281,23	13,39	1,43	0	49,6
4 ²	0,01	291,35	13,64	2,3	0	46,35

Все ВБЭ, приготовленные на основе эмульгатора Амдор-ЭМ, являются медленнораспадающимися, так как значения ИР > 260, у ВБЭ, приготовленных на основе эмульгатора Дорос-ЭМ, с увеличением концентрации асфальтенов наблюдается переход от среднераспадающихся к медленнораспадающимся битумным эмульсиям.

С увеличением содержания асфальтенов до 18 % происходит увеличение условной вязкости эмульсии. При содержании асфальтенов от 18 до 21 % наблюдается снижение показателя, при содержании асфальтенов выше 21 % вновь наблюдается динамика возрастания показателя. Предполагается, что такое нетипичное поведение вязкости в области от 18 до 21 % асфальтенов связано с переходом битума от структуры «золь» к началу формирования структуры «золь-гель».

Значения показателя «остаток на сите» и «остаток на сите после 7 суток» находятся в пределах 0-0,01 %, что соответствует стандарту.

Для полученных эмульсий в целом происходит увеличение показателя расслоения с увеличением содержания асфальтенов в модельных битумах. Характер

этой зависимости во многом будет определяться используемым ПАВ (для эмульсий на основе Амдор-ЭМ зависимость более резкая).

Таким образом, для создания устойчивых, соответствующих стандарту ВБЭ на основе эмульгаторов Амдор-ЭМ и Дорос-ЭМ оптимальное содержание асфальтенов в вязком нефтяном дорожном битуме должно быть до 21 % мас.

Список литературы:

1. Коновалов М.Г. Дорожные эмульсии, их приготовление и применение / М.Г. Коновалов, Г.М. Ильяшев. – М.: Гушосдора, 1938. – 278 с.
2. Абдуллин А.И., Ганиева Т.Ф., Идрисов М.Р., Емельянычева Е.А. Водобитумные эмульсии.: учебное пособие. – Казань: Издательство КНИТУ, 2012, с.38, с.88-90.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Е.А. Емельянычева

КСУ ЮПИН, ЛИНЬ БАЙЦЮАНЬ, ЛЮ ТИН
Китайский университет горного дела и технологий

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ПОРИСТО-ТРЕЩИНОВАТОЙ СТРУКТУРЫ УГЛЯ ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ ПАРОВОМ УДАРЕ

XU YOUPIING, LIN BAIQUAN, LIU TING
China University of Mining and Technology

EXPERIMENTAL STUDY ON PORE-FRACTURE STRUCTURE EVOLUTIONS OF COAL UNDER HIGH-TEMPERATURE STEAM SHOCK

Abstract: Injecting steam into the coal seam is a potentially important means to accelerate gas desorption and improve gas extraction efficiency. To study the changes of macro and micro structures of coal under high-temperature steam shock, an experimental platform is set up for the saturated steam (203°C) shock experiment on bituminous coal from Daliuta Coal Mine and anthracite coal from Daxi Coal Mine. Macroscopically, fractures on the surface of coal samples are extracted based on PCAS for quantitative and comparison analysis. Microscopically, based on the industrial Nuclear Magnetic Resonance (NMR) technology, the variation law of pores and fractures in the coal are compared and analyzed. Finally, the coal breaking mechanism under high-temperature shock is analyzed under the guidance of the unsteady thermal stress theory. The results show that high-temperature steam shock accelerates the occurrence, widening and extension of coal fractures, especially for the bituminous coal. High-temperature steam shock can effectively promote the development of coal pores and increase the total porosity of coal samples. The absolute increment of micropores is the largest, followed by that of mesopores, and that of macropores is the smallest. The increased pores after high-temperature steam shock are of enlarged and penetrated types. Enlarged pores increase the volume or number of pores, while penetrated pores are opened pores that used to be closed, thus transforming micropores into mesopores and further into macropores. The maximum thermal stress generated under the high-temperature shock is located in the tangential direction of the surface of the coal sample. The direct reason for the occurrence, expansion and penetration of fractures is that the thermal

stress exceeds the tensile strength of the coal sample. Heterogeneous distribution of mineral components, different thermal expansion and contraction coefficients of the coal, as well as the temperature gradient, are the fundamental mechanisms behind thermal-stress-induced coal breaking. The research results provide technical support for high-efficient development of coalbed methane and improvement of coalbed gas extraction rate.

Youping Xu: Conceptualization, Methodology, Investigation, Writing-Original Draft, Writing-Review & Editing. Baiquan Lin: Resources, Writing-Review & Editing, Funding acquisition. Ting Liu: Writing-Review & Editing, Funding acquisition.

List of references:

1. FENG Z, ZHOU D, ZHAO Y, et al. Study on microstructural changes of coal after methane adsorption[J]. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2016,30: 28-37.
2. SUN W, FENG Y, JIANG C, et al. Fractal characterization and methane adsorption features of coal particles taken from shallow and deep coalmine layers[J]. *Fuel*, 2015,155: 7-13.
3. MITRA A, HARPALANI S, LIU S. Laboratory measurement and modeling of coal permeability with continued methane production: Part 1 – Laboratory results[J]. *Fuel*, 2012,94: 110-116.
4. WANG D, WEI J, FU Q, et al. Seepage law and permeability calculation of coal gas based on Klinkenberg effect[J]. *Journal of Central South University*, 2015,22(5): 1973-1978.
5. BRYANT J E, HAGGSTROM J. An Environmental Solution to Help Reduce Freshwater Demands and Minimize Chemical Use: SPE/EAGE European Unconventional Resources Conference and Exhibition[Z]. 2012153867.
6. BAHRAMI H, REZAEI R, CLENNELL B. Water blocking damage in hydraulically fractured tight sand gas reservoirs: An example from Perth Basin, Western Australia[J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2012,88-89: 100-106.
7. HUANG W, LEI M, QIU Z, et al. Damage mechanism and protection measures of a coalbed methane reservoir in the Zhengzhuang block[J]. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2015,26: 683-694.
8. KANG Y, XU C, YOU L, et al. Comprehensive evaluation of formation damage induced by working fluid loss in fractured tight gas reservoir[J]. *Journal of natural gas science and engineering*, 2014,18: 353-359.
9. LIU Q, GUO Y, AN F, et al. Water blocking effect caused by the use of hydraulic methods for permeability enhancement in coal seams and methods for its removal[J]. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2016,26(4): 615-621.
10. ZHAO D, ZHANG C, CHEN H, et al. Experimental study on gas desorption characteristics for different coal particle sizes and adsorption pressures under the action of pressured water and superheated steam[J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2019,179: 948-957.
11. CAI Y, LIU D, YAO Y, et al. Partial coal pyrolysis and its implication to enhance coalbed methane recovery, Part I: An experimental investigation[J]. *Fuel*, 2014,132: 12-19.
12. WANG H, MERRY H, AMORER G, et al. Enhance Hydraulic Fractured Coalbed Methane Recovery by Thermal Stimulation: SPE/CSUR Unconventional Resources Conference[Z]. 2015D11S-D14S.
13. HONG Y, LIN B, ZHU C, et al. Effect of microwave irradiation on petrophysical characterization of coals[J]. *Applied Thermal Engineering*, 2016,102: 1109-1125.

14. ZHAO S, CHEN X, LI X, et al. Experimental analysis of the effect of temperature on coal pore structure transformation[J]. Fuel, 2021,305: 121613.
15. MU Y, FAN Y, WANG J, et al. Numerical study on injection of flue gas as a heat carrier into coal reservoir to enhance CBM recovery[J]. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2019,72: 103017.
16. LIU X, LI M, ZHANG C, et al. Mechanistic insight into the optimal recovery efficiency of CBM in sub-bituminous coal through molecular simulation[J]. Fuel, 2020,266: 117137.
17. SALMACHI A, HAGHIGHI M. Feasibility Study of Thermally Enhanced Gas Recovery of Coal Seam Gas Reservoirs Using Geothermal Resources[J]. Energy & Fuels, 2012,26(8): 5048-5059.
18. LIN B, LI H, CHEN Z, et al. Sensitivity analysis on the microwave heating of coal: A coupled electromagnetic and heat transfer model[J]. Applied Thermal Engineering, 2017,126: 949-962.

Supervisor of studies: PhD of Safety engineering, professor Baiquan Lin

КУДИНОВА А.А., ПОЛТОРАЦКАЯ М.Е.
Санкт-Петербургский горный университет

**АКТИВАЦИЯ НЕФТЯНОГО КОКСА КОКН С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ
ВЫСОКОПОРИСТОГО УГЛЕРОДНОГО МАТЕРИАЛА**

KUDINOVA A.A., POLTORATSKAYA M.E.
Saint Petersburg Mining University

**ACTIVATION OF PETROLEUM COKE KOKH IN ORDER TO OBTAIN A HIGHLY
POROUS CARBON MATERIAL**

Из всех пористых углеродных материалов наибольшее применение в промышленности нашел активированный уголь, который используется в качестве адсорбента, носителя катализаторов, в электроэнергетике и др. Однако его производство в России покрывает лишь 40 % потребления активированного угля, поэтому необходимо найти альтернативный углеродный материал со свойствами, близкими к активированному углю, чтобы расширить материальную базу для получения пористых углеродных материалов [1].

Перспективным сырьем для получения пористого углеродного материала является нефтяной кокс, поскольку его производство в РФ с каждым годом растет и после активации он обладает высокой пористостью 70-80 % и площадью поверхности 1000-2500 м²/г [2,3,4].

Целью данного исследования является получение пористого углеродного материала активацией нефтяных коксов, полученных из различных видов углеводородного сырья при различных термобарических условиях процесса замедленного коксования.

Нефтяной кокс получали на лабораторной установке замедленного коксования при температуре 500 °С и давлении от 0,15 до 0,35 МПа [5]. В качестве сырья

коксования использовали четыре вида углеводородного сырья - гудрон, асфальт, тяжелый каталитический газойль (ТГК), тяжелая сланцевая смола (ТСС) - отличающихся происхождением и групповым углеводородным составом.

Полученный нефтяной кокс подвергали химической активации КОН. Для этого 5 г нефтяного кокса измельчали до размеров частиц менее 125 мкм и смешивали с 15 г КОН. Полученную смесь переносили в муфельную печь, нагревали в атмосфере азота со скоростью 10 °С/мин до температуры активации 750 °С и выдерживали при конечной температуре 1 ч. Затем углеродный материал охлаждали до комнатной температуры в токе азота и промывали сначала HCl, а затем дистиллированной водой до нейтрального значения pH промывных вод.

Влияние состава исходного сырья коксования на качество получаемого высокопористого углеродного материала изучали методами рентгенофлуоресцентного анализа, рентгеноструктурного анализа, сканирующей электронной микроскопии, ИК-спектроскопии, БЭТ.

Активация кокса КОН приводит к росту пористости и удельной площади поверхности, а также к снижению доли сернистых веществ. Изменение пористости при активации антибатно: при активации кокса с меньшей пористостью увеличение этого показателя больше, чем при активации высокопористого сырья, которое получают из высокоароматизированных источников (ТГК) или при большем давлении коксования.

Состав исходного сырья и давление коксования оказывает сильное влияние на пористость получаемого активированного продукта. Для получения высокопористого материала необходимо использовать сырье с меньшим количеством ароматических соединений, но содержащих сопоставимые количества смол и предельных углеводородов (гудрон), а процесс коксования проводить при низком давлении.

Таким образом, полученный из нефтяного кокса углеродный материал обладает высокой удельной площадью поверхности (1000-2300 м²/г) [6], превосходящей используемый в промышленности активированный уголь (до 1200 м²/г) [7], что позволяет использовать его в качестве адсорбента и носителя катализатора. Для получения высокопористого углеродного материала необходимо проводить замедленное коксование при низком давлении и использовать в качестве сырья нефтяные остатки с меньшим количеством ароматических соединений.

Работа выполнена в рамках Государственного задания Минобрнауки РФ по НИР № 0792-2020-0010 «Развитие научных основ инновационных технологий переработки тяжелого углеводородного сырья в экологически чистые моторные топлива и новые углеродные материалы с регулируемой макро- и микроструктурной организацией мезофазы». Исследования проводили с привлечением лабораторной базы Центра коллективного пользования Санкт-Петербургского горного университета.

Вклад авторов:

Кудинова А.А. – активация нефтяного кокса, полученного из гудрона и асфальта; проведение и обработка результатов рентгенофлуоресцентного анализа, сканирующей электронной микроскопии, ИК-спектроскопии, БЭТ.

Полторацкая М.Е. - активация нефтяного кокса, полученного из ТГК и ТСС; определение зольности и пористости образцов.

Список литературы:

1. Kugatov P.V. et al. Production of molded activated carbon from carbon black and petroleum pitch by alkaline activation // Russian Journal of Applied Chemistry. 2016. Vol. 89, № 6. P. 886–890.
2. Lu C., Xu S., Liu C. The role of K_2CO_3 during the chemical activation of petroleum coke with KOH // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2010. Vol. 87, № 2. P. 282–287.
3. Liu S. et al. Esterification over acid-treated mesoporous carbon derived from petroleum coke // ACS Omega. 2019. Vol. 4, № 3. P. 6050–6058.
4. Zhu X. et al. CO_2 Capture with activated carbons prepared by petroleum coke and KOH at low pressure // Water, Air and Soil Pollution. 2013. Vol. 224, № 1. P. 1–12.
5. Predel H., Srivatsan S. Petroleum Coke // Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 2014. Vol. 37, № 6. P. 1–21.
6. Jang E., Choi S.W., Hong S.M., Shin S., Lee K.B. Development of a Cost-Effective CO_2 Adsorbent from Petroleum Coke via KOH Activation // Applied Surface Science. 2018. № 429. P. 62–71.
7. Toebes M.L., Van Dillen J.A., De Jong K.P. Synthesis of supported palladium catalysts // Journal of Molecular Catalysis A: Chemical. 2001. Vol. 173, № 1–2. P. 75–98.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Т.Е. Литвинова

ЛУКЪЯНЦЕВА Е.С.

Санкт-Петербургский горный университет

РАЗДЕЛЕНИЕ ИТТРИЯ И ЖЕЛЕЗА ПРИ ЭКСТРАКЦИИ ИЗ ФОСФОРНОКИСЛЫХ РАСТВОРОВ

LUKYANTSEVA E.S.

Saint Petersburg Mining University

YTTRIUM AND IRON SEPARATION DURING EXTRACTION FROM PHOSPHORIC ACID SOLUTIONS

Редкоземельные элементы, или РЗЭ, представляют собой крайне ценный сырьевой ресурс: благодаря уникальным свойствам они стали незаменимы в многочисленных высокотехнологичных отраслях промышленности, таких как производство катализаторов и постоянных магнитов, микроэлектроника, металлургия. Их незаменимость в наукоёмких технологиях и сосредоточенность запасов на территории Китайской Народной Республики привели к тому, что РЗЭ считаются Европейской Комиссией критически важным сырьём из-за чрезвычайно высокого риска перебоя поставок [1].

Наиболее значимыми принято считать элементы, относящиеся к тяжёлой подгруппе (лантаноиды от гадолия до лютеция, а также иттрий), запасы которых существенно ниже запасов лёгкой подгруппы и которые особенно тяжело разделить.

Сложности в извлечении РЗЭ заключаются в их низком содержании в руде и в то же время высоком содержании примесей. Эти руды, как правило, подвергаются переработке путём выщелачивания кислотами, что приводит к образованию растворов с большим числом компонентов и очень низкими значениями рН. Наиболее подходящим способом получения редкоземельных элементов из подобных растворов является экстракционное извлечение, которое, помимо непосредственного извлечения, позволяет их концентрировать и отделять друг от друга.

В России сырьём, содержащим большую часть запасов редкоземельных элементов, является апатит, уже несколько десятилетий применяющийся для получения удобрений. Технология предполагает разложение апатитового концентрата раствором серной кислоты с получением экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК). На данный момент извлечение РЗЭ из ЭФК, где они содержатся в количестве до 0,1 %, в промышленных масштабах не ведётся.

В работе рассматривалась и жидкостная, и твердофазная экстракция иттрия — металла тяжёлой подгруппы с наибольшим содержанием в фосфорной кислоте. Как экстрагент применялась ди-2-этилгексилфосфорная кислота (Д2ЭГФК), растворённая в керосине, которая в случае твердофазной экстракции наносилась на стирол-дивинилбензолную матрицу. Помимо РЗЭ, Д2ЭГФК образует прочные комплексы с железом (3+), которое находится в ЭФК в количестве, несколько раз превышающем суммарное содержание ЭФК в фосфорной кислоте.

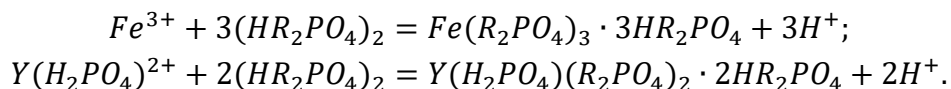
Лимитирующая стадия — один из основополагающих характеристик кинетики процесса. Для её выявления проводилось сравнение, как сильно влияют условия проведения экстракции (температура и скорость перемешивания) на процесс. Построение зависимостей логарифма степени приближения к равновесию от времени при различных параметрах показало: для жидкостной экстракции иттрия скорость перемешивания влияет на процесс и константу скорости, характеризующуюся угловым коэффициентом, в большей степени, нежели температура. Таким образом, определяемой лимитирующей стадией оказалась диффузионная область. Рассчитанная энергия активации составила $16,2 \pm 1,3$ кДж/моль.

В случае с железом (3+) ситуация не такая однозначная. С увеличением температуры, при которой велась экстракция, наблюдалась перемена угла наклона, следовательно, менялась лимитирующая стадия. Так, при температуре до 300 К лимитирующей стадией оказалась химическая реакция, тогда как для повышенных температуры (305- 333 К) лимитирующей становилась диффузия. Для наилучшего разделения иттрия и железа необходимо проводить экстракцию в условиях разных лимитирующих стадий. Рассчитанные энергии активации составили $40,0 \pm 1,4$ кДж/моль при температуре до 300 К и $11,4 \pm 1,2$ кДж/моль при температуре более 305 К.

Помимо температуры, изучалось и время контакта фаз. Получено, что равновесие при экстракции иттрия достигается за 2-3 минуты, в то время как для достижения равновесия при экстракции железа требуется 15 минут. Сокращение времени процесса позволит уменьшить степень извлечения железа до 7-10 % при

извлечении иттрия на уровне 75-80 %, благодаря чему коэффициент разделения превысит двадцать три.

Разница в извлечении иттрия и железа объясняется расхождениями в их строении и, следовательно, взаимодействии с Д2ЭГФК:



Так, ионы РЗЭ, которые находятся в растворах фосфорной кислоты в виде дигидрофосфат-ионов, требуют меньшего числа молекул Д2ЭГФК для образования первой координационной сферы.

Твердофазная экстракция характеризуется значительно увеличенным временем, необходимым для установления равновесия: здесь оно возрастает до двух часов и может быть сокращено вдвое за счёт увеличения температуры процесса до 330 К. При этом на степень извлечения ни температура, ни скорость перемешивания не оказывают существенного влияния. Удовлетворительное соотношение фаз экстрагента к водной фазе для достижения 80%-ной степени извлечения составило 1:10.

Отличие твердофазной от жидкофазной экстракции заключается в отсутствии возможности установить неравновесные условия, позволяющие сократить степень извлечения железа. Запутанные, длинные и разветвленные алкильные радикалы Д2ЭГФК, внедренные в сетчатую структуру матрицы, препятствуют формированию первой координационной сферы железа, что приводит к некоторому снижению эффективности твердофазной экстракции. Энергия активации для твердофазной экстракции составила $18,5 \pm 2,0$ кДж/моль. Такое значение относится к гелевой кинетике, то есть лимитирующей стадией является диффузия в зерне.

Так, твердофазная экстракция позволяет свести к минимуму влияние температурного фактора и интенсивности, помимо основного преимущества, заключающегося в отсутствии необходимости использовать горючие и легко воспламеняющиеся растворители. Недостатком остаётся лишь более продолжительное время экстракции.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 19-19-00377 «Технологические основы извлечения и селекции стратегически значимых редкоземельных элементов из продуктов апатитового производства» от 22.04.2019.

Список литературы:

1. European Commission, Study on the EU's list of Critical Raw Materials, 2020.

Научный руководитель: к.т.н., доцент В.В. Сергеев

МАШУКОВА Ю.А.

Санкт-Петербургский горный университет

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
СОРБЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ЛИНЕАРИЗАЦИИ ЗАКОНА
ДЕЙСТВУЮЩИХ МАСС**

MASHUKOVA J.A.

Saint Petersburg Mining University

**DETERMINATION OF THE THERMODYNAMIC CHARACTERISTICS OF
SORPTION PROCESSES BASED ON LINEARIZATION OF THE LAW OF MASS
ACTION**

В работе получены термодинамические характеристики сорбционного извлечения РЗЭ на ионообменной смоле: значения константы равновесия, энергии Гиббса, полной ёмкости сорбента.

Актуальность исследования заключается в существующем высоком спросе на редкоземельные металлы на сырьевом рынке вследствие их широкого применения в различных отраслях промышленности, что обуславливает необходимость получения индивидуальных соединений РЗМ. Проводить селективное извлечение редкоземельных элементов из растворов сложного солевого состава и отделять их от примесных компонентов позволяют сорбционные процессы [1]. Термодинамические модели позволяют определить основные характеристики процесса: полную ёмкость ионообменной смолы, константу ионообменного равновесия и энергию Гиббса. Использование модели, согласующейся с экспериментальными данными, даёт возможность проводить моделирование сорбционных процессов, расчёт ионообменных установок.

В настоящее время наиболее широко применяемыми моделями являются уравнения Ленгмюра, Фрейндлиха, Дубинина-Радушкевича, Темкина, Флори-Хаггинса [2]. Каждая из вышеперечисленных моделей имеет свои допущения и ограничения, что делает возможным их применение исключительно в некотором концентрационном диапазоне и параметрах проведения процесса. Авторами проведено сравнение наиболее распространенных термодинамических моделей описания сорбционных равновесий и предлагаемой модели линеаризованного закона действующих масс (ЛЗДМ).

Церий сорбировали в виде анионных комплексов с Трилоном Б на слабоосновном макропористом анионите Cybber EV009, предварительно переведённом в нитратную форму. Эксперимент проводили в статических условиях методом переменных концентраций при соотношении твердой и жидкой фаз 1:5, pH=3, температуре 298К и постоянном значении ионной силы 1 моль/кг. Для построения линейных форм изотерм сорбции использовали уравнения Фрейндлиха, Ленгмюра, Темкина, Флори-Хаггинса, Дубинина-Радушкевича и ЛЗДМ. Линейная форма закона действующих масс имеет вид:

$$\frac{1}{\Gamma_{[\text{LnTr}]^-}} = \frac{1}{\Gamma_{\infty}} + \frac{1}{\Gamma_{\infty} \cdot K} \cdot \frac{[\text{NO}_3^-] \cdot \gamma_{\pm \text{NaNO}_3}^2}{[\text{LnTr}^-] \cdot \gamma_{\pm \text{NaLnTr}}^2} \quad (1)$$

Для каждой из рассматриваемых моделей по аппроксимационным зависимостям рассчитаны коэффициенты корреляции, константы ионообменного равновесия, энергия Гиббса сорбции ЭДТАцеррат-ионов, полная ёмкость анионита Cybber EV009. Линейная форма изотермы сорбции, построенная с использованием модели линеаризованного закона действующих масс представлена на рисунке 1:

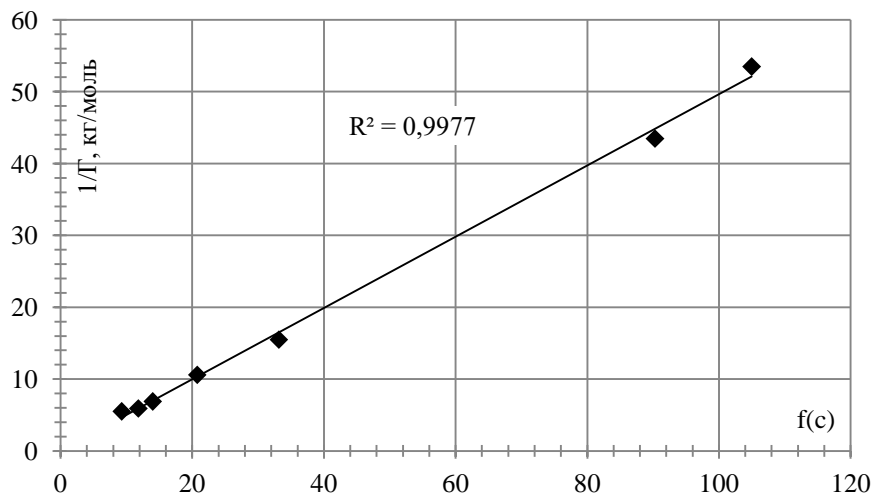


Рисунок 1. Линейная форма изотермы сорбции анионных комплексов церия с Трилоном Б на анионите Cybber EV009

Наименьшими коэффициентами корреляции (0,371; 0,932; 0,197) обладают модели Ленгмюра, Темкина и Флори-Хаггинса соответственно, что указывает на невозможность их применения для описания процесса сорбции ЭДТАцеррат-ионов на анионите Cybber EV009. Модель Фрейндлиха, несмотря на достаточно высокий коэффициент корреляции, также не может быть применена к исследуемому процессу, поскольку значение полной ёмкости анионита ($1,03 \pm 0,05$ моль/кг) не совпадает со значением, указанным в сертификате. Согласно модели Дубинина-Радушкевича, процесс сорбции не является самопроизвольным, что не согласуется с данными эксперимента.

С использованием модели ЛЗДМ были рассчитаны: константа ионообменного равновесия ($9,00 \pm 0,50$), энергия Гиббса ($-5,54 \pm 0,27$ кДж/моль) и полная ёмкость анионита ($2,00 \pm 0,10$ моль/кг). Полученные значения термодинамических характеристик сорбции ЭДТАцеррат-ионов на анионите D-403 свидетельствуют об эффективности применения данной модели для описания ионообменных равновесий в исследуемой системе.

Список литературы:

1. Wójcik G. Sorption behaviors of light lanthanides(III) (La(III), Ce(III), Pr(III), Nd(III)) and Cr(III) using nitrolite / Materials (Basel). 2020. № 13(10), 2256
2. Dada A.O. Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin–Radushkevich Isotherms Studies of Equilibrium Sorption of Zn^{2+} Unto Phosphoric Acid Modified Rice Husk / A.O. Dada, A.P. Olalekan, A.M. Olatunya, O. Dada // Journal of Applied Chemistry. 2012. V. 3. №1. P. 38-45

Научный руководитель: д.т.н., профессор О.В. Черемисина

МЕЛЕШКО А.В., БУЛАВКА Ю.А.
Полоцкий государственный университет

ПОЛУЧЕНИЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ ИЗ ОТРАБОТАННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН

MIALESHKA A. V., BULAUKA Y.A.
Polotsk State University

PRODUCTION OF PETROLEUM PRODUCTS FROM WASTE CAR TIRES

В работе предлагается рациональный способ переработки отработанных автомобильных шин в нефтепродукты: топливные фракции и битумные мастики, используемые для выполнения гидроизоляционных и кровельных работ в строительстве.

Актуальность исследования обусловлена возможностью снижения нагрузки на окружающую среду, расширения базы сырьевых ресурсов для получения нефтепродуктов за счет использования отходов и удешевления процесса получения товарной продукции.

Цели и методы исследования. Целью данного исследования является разработка рациональных направлений переработки отработанных автомобильных шин в светлые нефтепродукты и битумные мастики, используемые в строительстве для гидроизоляционных и кровельных работ. На первом этапе исследования измельченную крошку изношенных шин при температуре 180°C растворяли при постоянном перемешивании в нафталиновой фракции тяжелой смолы пиролиза. В полученную смесь при термообработке и перемешивании добавляли битум. Соотношение компонентов в композиции – битум: обработанные шины: фракция тяжелой смолы пиролиза в мас.: 80:15:5. Полученную композицию гомогенизировали с использованием шнекового устройства.

Основная часть. В настоящее время мировой объем накопленных отработанных автомобильных шин достиг около 80 млн. тонн. Ежегодный прирост накопления изношенных покрышек составляет примерно 10 млн. тонн. Прогнозируется, что к 2030 году накапливаться на свалках будет более миллиарда штук отработанных автомобильных шин ежегодно. Длительное хранение изношенных шин в накопителях опасно для окружающей среды [1, 2]. Шины практически не подвергаются биологическому разложению, их срок расщепления в земле составляет более 100 лет. Взаимодействие изношенных покрышек с грунтовыми водами и осадками связано с высоким риском попадания вредных веществ в водные объекты. Изношенные автомобильные шины обладают повышенной склонностью к воспламенению, при их горении в окружающую среду выбрасывается около 150 токсичных соединений, многие из которых опасные канцерогены: бензапирен, нафталин, 2-метилнафталин, хризен, антрацен, пирен, флуорен, бифенил, фенантрен, флуорантен, бензантрацен, аценафтен, аценафтилен, дибензантрацен и другие. В то же время отработанные автомобильные шины являются ценным вторичным материальным ресурсом. На рисунке 1 приведен объем переработки изношенных шин в некоторых странах.

В среднем по странам Западной Европы переработке подвергается до 80% изношенных шин. В целом по миру перерабатывается около 23% отработанных автомобильных шин в основном опасным для окружающей среды методом сжигания для получения энергии, либо механического измельчения для получения резиновой крошки.

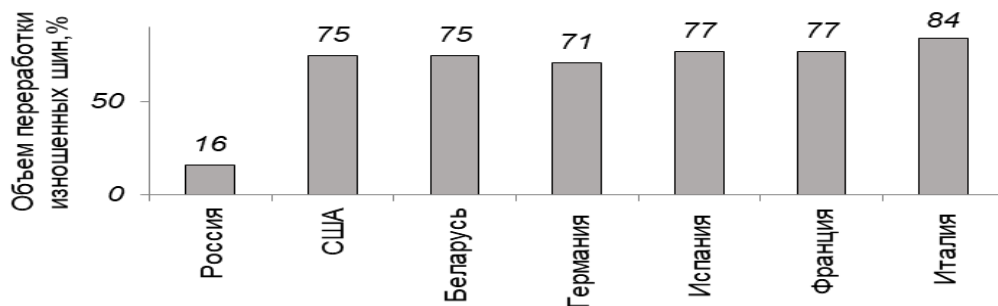


Рисунок 1. Объём переработки изношенных шин

Результаты и направления их использования. Проведенный нами комплексный анализ битумных мастик модифицированных отработанными шинами позволил установить, что конечный продукт обладает высокой адгезией к различным поверхностям; высокой деформационной способностью; эластичностью при низких температурах; высокой водостойкостью; достаточно высокой термостойкостью и пригодны для дальнейшего использования для выполнения гидроизоляционных и кровельных работ в строительстве.

На втором этапе исследования предложено из изношенных шин получать светлые нефтепродукты на базе установки гидроконверсии тяжелых остатков. Блок-схема прилагаемого способа рециклинга отработанных автомобильных шин в светлые нефтепродукты приведена на рисунке 2.

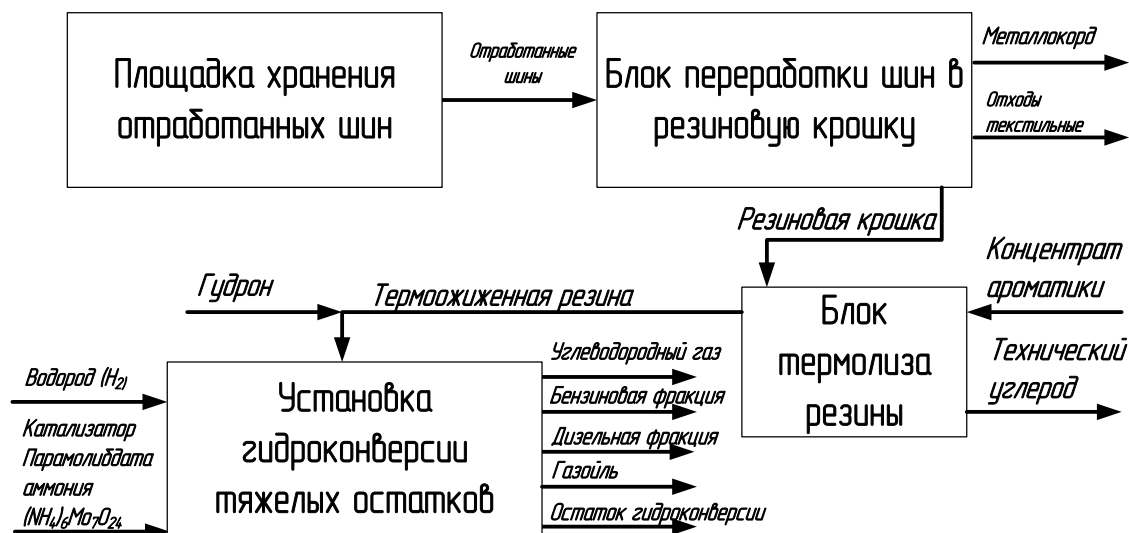


Рисунок 2. Блок-схема рециклинга отработанных шин в светлые нефтепродукты

На начальном этапе отработанные покрышки предлагается перерабатывать в резиновую крошку, металлокорд и текстильные отходы, далее на блоке термоллиза резиновую крошку термоожижать вместе с концентратом ароматики (отходом нефтеперерабатывающих производств), в последующем термоожиженную резину смешивать с гудроном и перерабатывать на установке гидроконверсии тяжелых остатков с получением

дополнительных нефтепродуктов: углеводородного газа, бензиновых, дизельных и газойлевых фракций, а также остатка гидроконверсии по российской технологии, разработанной Институтом нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН [3-9]. Выполнен расчет технико-экономических показателей на примере российского НПЗ с действующей установкой гидроконверсии тяжелых остатков мощностью по сырью 50 000 тонн в год, при вовлечении резиновой крошке в количестве 9000 тонн годовой экономический эффект от дополнительного выхода светлых топливных фракций и реализации металла составит более 7 млн. долларов.

Выводы и вклад каждого автора. Предлагаемые способы переработки отработанных автомобильных шин в нефтепродукты позволят снизить нагрузку на окружающую среду за счет уменьшения загрязнения литосферы, воздушного и водного бассейнов, сокращения площади полигонов для захоронения покрышек и минимизации рисков возникновения пожаров, а также расширить базу сырьевых ресурсов для получения нефтепродуктов рециклингом отходов и удешевить процесс получения товарной продукции. Все исследования, обработка и анализ результатов выполнены авторами совместно.

Список литературы:

1. K. Formela Sustainable development of waste tires recycling technologies – recent advances, challenges and future trends // *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*. 4(3), (2021), p.209-222, 10.1016/j.aiepr.2021.06.004
2. A. Fazli, D. Rodrigue Recycling waste tires into ground tire rubber (GTR)/rubber compounds: a review // *J. Compos. Sci.*, 4 (2020), p. 103, 10.3390/jcs4030103
3. Патент RU 2 614 755 Способ гидроконверсии тяжёлого углеводородного сырья (варианты) / Хаджиев С. Н., Кадиев Х. М., Зекель Л.А., Окнина Н. В., Кадиева М.Х., Магомадов Э.Э. Оpub. 29.03.2017г.
4. Кадиев Х. М. Гидроконверсия углеродсодержащего органического сырья в присутствии наноразмерных катализаторов на основе дисульфида молибдена : автореферат дис. ... доктора химических наук : 02.00.13 / Кадиев Хусаин Магамедович; [Место защиты: Ин-т нефтехим. синтеза им. А.В. Топчиева РАН] .- Москва, 2018.- 48 с.
5. Мустафин, И.А. Гидрокаталитические процессы переработки тяжелых нефтяных фракций с использованием перспективных наноразмерных катализаторов/ И.А. Мустафин, Г.М. Сидоров, К.Е. Станкевич, Т.М. Байрам-Али, А.И. Салишев, Е.В. Муртазин, А.В. Ганцев// *Фундаментальные исследования*. -2018. -№ 7. -С. 22-28.
6. Магомадов, Э.Э. Гидроконверсия атмосферных и вакуумных остатков высоковязких нефтей на катализаторах, синтезированных in situ в реакционной среде : диссертация ... кандидата химических наук : 02.00.13 / Магомадов Эльдар Элиевич; [Место защиты: Ин-т нефтехим. синтеза им. А.В. Топчиева РАН].- Москва, 2014- 138 с.
7. Зайцева, О.В. Структурные превращения асфальтенов при гидроконверсии гудрона в сларри-реакторе : автореферат дис. ... кандидата химических наук : 02.00.13 / Зайцева Ольга Владимировна; [Место защиты: Ин-т нефтехим. синтеза им. А.В. Топчиева РАН] . Москва,- 2016.- 24 с.
8. Кадиев, Х.М. Гидроконверсия полиэтилена и шинной резины в смеси с тяжелыми нефтяными остатками/ Х.М. Кадиев, А.У. Дандаев, А.М. Гюльмалиев, А.Е. Батов, С.Н. Хаджиев // *Химия твердого топлива*. -2013.-№2. -С. 65-72.
9. Дандаев, А. У. Совместная гидроконверсия органических техногенных отходов и тяжелых нефтяных остатков: диссертация ... кандидата химических наук: 02.00.13 / Дандаев Асхаб Умалтович; [Место защиты: Институт нефтехимического синтеза им.А.В.Топчиева РАН - Учреждение РАН].- Москва, 2014.- 140 с.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Ю.А. Булавка

МИХАЙЛОВ Ю.В.

Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ НАНОПРИСТЫХ СТЕКОЛ ПОСЛЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СПЕКАНИЯ

MIKHAILOV Y.V.

Mendeleev University of Chemical Technology of Russia

STRUCTURAL FEATURES OF NANOPRISE GLASSES AFTER HIGH- TEMPERATURE SINTERING

Нанопористое стекло – матрица для композиционных оптических материалов, в которой путем импрегнирования различных активаторов возможно инициировать появление нехарактерных для композиционных материалов свойств. При этом основной параметр структуры нанопористого стекла – пористость, можно контролировать методом высокотемпературного спекания. В данной работе мы изучили влияние температурного спекания на структуру пористого стекла.

Нанопористые стекла (НПС) – это продукты химической обработки фазово-разделенных щелочборосиликатных стекол: под действием неорганических кислот происходит селективное вытравливание химически нестойкой натриево-боратной фазы, что приводит к формированию сквозных наноканалов, заполненных глобулами вторичного кремнезема. Диаметр таких каналов может достигать 7-10 нм, а при дальнейшей обработке щелочными растворами увеличиваться до 100-400 нм. Важной особенностью НПС является возможность получения пор с узким распределением по размерам [1,2]. Благодаря наличию сквозной открытой пористости и возможности тонкой настройки размеров пор НПС представляют большой интерес для применений в области биотехнологических исследований, хроматографии, катализе, при создании сенсорных устройств и биоматериалов [3, 4].

Для получения НПС используют стеклообразующие системы, в которых возможно протекание процесса ликвации – фазового разделения изначально однородной жидкости на две жидкие фазы, имеющие четкую границы раздела. Ликвиравшиеся стекла образуются в момент затвердевания метастабильной фазы, состоящей из двух взаимопроникающих фаз. К примеру, для натриевоборосиликатных стекол, такими фазами являются натриевоборатная и кремнеземистая. В общем случае, в зависимости от параметров термообработки, ликвация может приводить к формированию структуры двух типов: замкнутой (капельной) или непрерывной (каркасной). Для получения НПС необходимо формирование в исходном стекле непрерывной двухкаркасной структуры. На параметры будущих пор влияет состав исходного стекла, условия термообработки. С увеличением температуры вязкость стекла уменьшается, и поэтому возрастает скорость ликвации.

Этому способствует спинодальный механизм фазового разделения. Он характеризуется отрицательной производной свободной энергии Гиббса по составу. Если вторая производная положительна, то распад идет по бинадальному механизму, и образуется капельная структура, не позволяющая получать пористые стекла.

Для стекол натриевоборосиликатной системы, лежащих в пределах спинодальной области, подход от высоких температур приводит к капельной фазовой структуре, а от низких – к двухкаркасной. При медленном охлаждении преимущественно образуется капельная структура. При кислотном травлении ликвидировавших натриевоборосиликатных стекол параллельно происходит ряд процессов способствующих образованию пор и препятствующих этому: диффузия продуктов травления и компонентов травильного раствора; растворение натриевооборотной фазы; диффузия ионов Na^+ и H^+ ; образование золя и геля; зарядка поверхности и капиллярные явления. Все эти процессы зависят от состава, структуры термообработанного стекла и условий травления.

Необходимость создания новых люминесцентных и лазерных сред, а также сред для лазерной записи, создает новый запрос на НПС. Импрегнация НПС растворами, содержащими редкоземельные или переходные металлы, позволяет создавать наноконструкты, содержащие заданную концентрацию ионов металлов. Последующая консолидация этих композитов при температуре схлопывания пор НПС приводит к получению прозрачного монолитного стекла, содержащего необходимое количество ионов-активаторов, однородного распределенных в объеме материала [5]. Лазерное формирование двулучепреломляющих микрообъектов в НПС позволяет значительно повысить скорость записи данных, открывая пути для создания новых носителей информации [5-7].

Другое перспективно направление применение НПС – подложки для спектроскопии гигантского комбинационного рассеяния (ГКР), принцип их действия основан на усилении амплитуды электромагнитного поля вблизи искривленных и наноструктурированных поверхностей благородных металлов. Усиление поля наблюдается на острых краях металлической поверхности, на отдельных либо агрегированных металлических наночастицах, на наноструктурированных металлических поверхностях. Согласно сложившемуся представлению об электромагнитном механизме ГКР, усиление обусловлено плазмонным откликом металлической наноструктуры и локализовано в ее приповерхностной зоне [9, 10].

На сегодняшний день исследуются подложки с использованием благородных металлов в форме наночастиц, островковых пленок и др., которые внедряются в различные матрицы-подложки – полимеры, керамику, кристаллы, стекла, бумагу [10]. Помимо эффективности усиления сигнала ГКР важным требованием для ГКР-подложек является возможность их многократного использования и невысокая стоимость производства. Исследования показывают, что нанопористые материалы могут стать удобной матрицей для формирования в них металлических наночастиц с целью создания недорогих и многоцветных ГКР-подложек [11]. В этой связи, в данной работе мы синтезировали НПС с наночастицами золота и изучили их структуру.

Образцы НПС были получены травлением образцов стекла марки ДВ-1 в растворе H_2SO_4 в ультразвуковой ванне в течение суток при постоянной температуре 80°C . По истечению этого времени образцы были просушены на воздухе и обработаны в лабораторной печи при температурах в диапазоне $500\text{-}1000^\circ\text{C}$ в течение 3 ч для исследования влияния процесса высокотемпературной консолидации на структуру стекла.

Структура стекла исследовалась методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с использованием электронного микроскопа VEGA3, Tescan, а также методом спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) с использованием

зондовой НаноЛаборатории ИНТЕГРА Спектра, НТ-МДТ, при возбуждении на длине волны 488 нм.

На рис.1 приведены изображения с СЭМ, демонстрирующие изменение пористой структуры стекла с увеличением температуры обработки. Анализ изображений показал, что средний размер пор в образце НПС после термообработки при 500 град. С составил 78 ± 5 нм. При увеличении температуры обработки до 750 град. С средний размер пор уменьшился до 50 ± 5 нм. Дальнейшее увеличение температуры обработки привело к практически полной консолидации пор, на снимке видны фрагменты пор размером 10-20 нм. Необходимо отметить, что средний размер пор в образце НПС до термообработки был равен 80 ± 5 нм.

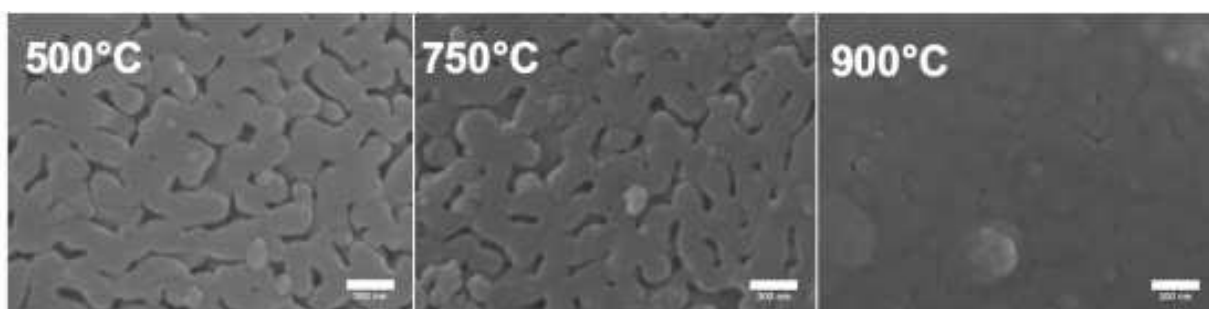


Рисунок 1. Изображения СЭМ образцов стекла после температурной обработки при 500, 750 и 900 град. С в течение 3 ч. Масштаб 300 нм

На спектрах КР (рис. 2) видно, что с увеличением температуры обработки образцов ПС выше 750°C происходит поверхностная кристаллизация образцов. Дальнейшее повышение температуры ведет к формированию на поверхности кристаллов кристобалита, что связано с перекристаллизацией силикатной фазы НПС. Наличие кристаллической фазы может негативно влиять на работу ГКР-подложек, в то же время, желательно использовать подложки с максимальной температурной обработкой, в силу больших размеров наночастиц золота, формируемы в порах. Поэтому для дальнейшей работы по изучению возможности усиления сигнала аналита был выбран образец НПС после обработки при 750°C .

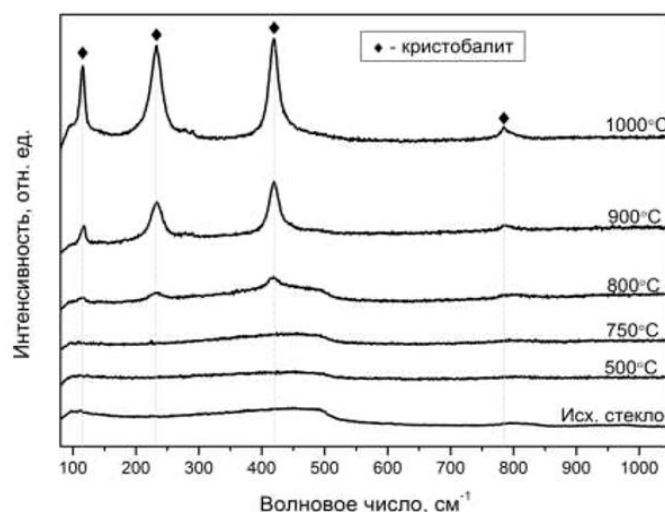


Рисунок 2. Спектры комбинационного рассеяния света образцов НПС, после обработки при различных температурах в течение 3 ч

Таким образом, в данной работе методом кислотного травления была получена серия образцов нанопористых стекол и изучена структура стекол после высокотемпературного спекания. Исследование структуры методом СЭМ показало, что при повышении температуры спекания с 500 до 900 град. С происходит снижение среднего размера пор с 80 до 15 нм. Это говорит о том, что, варьируя температуру обработки, можно тонко настраивать пористость материала. Результаты анализа образцов методом спектроскопии КР показали, что при спекании стекла при температурах более 900 град. С на поверхности начинают формироваться кристаллические фазы кристобалита.

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента РФ для молодых ученых кандидатов наук №МК-1194.2020.3.

Список литературы:

1. Levitz P. et al. Porous Vycor glass: The microstructure as probed by electron microscopy, direct energy transfer, small-angle scattering, and molecular adsorption //The Journal of chemical physics. – 1991. – Vol. 95. – No. 8. – pp. 6151-6161.
2. Komandin G. A. et al. Effect of moisture adsorption on the broadband dielectric response of SiO₂-based nanoporous glass //Journal of Applied Physics. – 2019. – Vol. 126. – No. 22. – pp. 224303.
3. Mazilu C. et al. Nanoporous glass in Na₂O-B₂O₃-SiO₂ oxidic system, for potential biomedical applications //Journal of optoelectronics and advanced materials. – 2007. – Vol. 9. – No. 7. – pp. 2036-2040.
4. Shakhgil'dyan G. Y. et al. Nanoporous glass with controlled pore size for high-efficiency synthesis of oligonucleotides //Glass and Ceramics. – 2019. – Vol. 75. – No. 9-10. – pp. 377-382.
5. Xia J. et al. Rare-earth doped silica microchip laser fabricated by sintering nanoporous glass //Optics letters. – 2005. – Vol. 30. – No. 1. – pp. 47-49.
6. Fedotov S. S. et al. 3-bit writing of information in nanoporous glass by a single sub-micro second burst of femtosecond pulses //Optics letters. – 2018. – Vol. 43. – No. 4. – pp. 851-854.
7. Lipatiev A. S. et al. Multilevel data writing in nanoporous glass by a few femtosecond laser pulses //Applied Optics. – 2018. – Vol. 57. – No. 4. – pp. 978-982.
8. Fedotov S. S. et al. Laser-induced cavities with a controllable shape in nanoporous glass //Optics Letters. – 2020. – Vol. 45. – No. 19. – pp. 5424-5427.
9. Barbillon G. Latest Novelties on Plasmonic and Non-Plasmonic Nanomaterials for SERS Sensing //Nanomaterials. – 2020. – Vol. 10. – No. 6. – pp. 1200.
10. Sharma B. et al. SERS: Materials, applications, and the future //Materials today. – 2012. – Vol. 15. – No. 1-2. – pp. 16-25.
11. Pan Z. et al. Surface-enhanced Raman probing of biomolecules using Ag-coated porous glass-ceramic substrates //Journal of Raman Spectroscopy – 2005. – Vol. 36. – No. 11. – pp. 1082-1087.

Научный руководитель: д.х.н., профессор В.Н. Сигаев

МОИСЕЕВА Е.Г., ИЛЬМЕНСКИЙ А.С., ЛАХОВА А.И.
Казанский национальный исследовательский технологический университет

**СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛЮМОНИКЕЛЕВОГО КАТАЛИЗАТОРА НА
УГЛЕРОДНОМ НОСИТЕЛЕ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ВЫСОКОВЯЗКИХ НЕФТЕЙ**

MOISEEVA E.G., ILMENSKY A.S., LAKHOVA A.I.
Kazan National Research Technological University

**SYNTHESIS AND STUDY OF ALUMINUM-NICKEL CATALYST ON
CARBON CARRIER FOR PROCESSING HIGH-VISCOSITY OILS**

Активные угли, обладающие высокоразвитой удельной поверхностью и большими размерами пор, в последнее время все чаще рассматриваются как экономически доступные носители каталитических систем для процессов глубокой переработки тяжелого углеводородного сырья. В работе представлен синтез солей Ni^{2+} и Al^{3+} с соотношением 2:1 и 3:1 на углеродном носителе.

На фоне сокращения исследованных запасов кондиционных легких нефтей в общем объеме переработки углеводородного сырья увеличивается доля тяжелых высоковязких нефтей и составляют 80% общемировых нефтяных ресурсов. В результате переработки тяжелых нефти образуются большое количество тяжелых остаточных фракций. Трудности переработки тяжелых остаточных фракций является высокое содержание в их составе смолисто асфальтеновых веществ. Учитывая сложную структуру ассоциатов смолисто-асфальтеновых веществ нефти, их доступ к активным центрам катализаторов представляется затруднительным. Исследование направлено на синтез и исследование новых каталитических систем, обладающих высокой селективностью к превращениям смолисто-асфальтеновых компонентов.

Целью работы является изучение влияния соотношения в пропиточном растворе катионов металлов Ni/Al на состав и параметры порового пространства каталитической системы на углеродном носителе. Анализ состава, поверхности и порового пространства проводился рентгенофлуоресцентным методом анализа на приборе ZSX PRIMUS II (Rigaku), рентгенографическим методом анализа на многофункциональном дифрактометре SmartLab (Rigaku) для исследования морфологии поверхности образцов использовался оптический микроскоп Eclipse LV100DA (NIKON).

Импрегнирование активного угля (Сакт) с помощью растворов солей Ni и Al с соотношением равным 2:1 и 3:1, привело к отношению катионов металлов Ni^{2+}/Al^{3+} на его поверхности 5:1 и 10:1 соответственно (табл. 1). При прокаливании каталитической системы Сакт, Ni/Al (3:1) в токе H_2 соотношение Ni^{2+}/Al^{3+} увеличилось до 12:1. В большей степени среди примесных элементов присутствующих в составе каталитических систем заметно наличие Ca, который присутствовал в Сакт (в составе карбоната кальция) и Na входящего в состав осадителя (3М раствор NaOH) использовавшегося на стадии синтеза гидроксидов Ni/Al из растворов их солей на поверхности активного угля. Наибольшее количество Na присутствует в каталитической системе Ni/Al (3:1), полученной после термообработки в среде N_2 – 2,52 % мас. и водорода H_2 – 3,34 % мас., меньшее количество примесных элементов находится в образце Сакт, Ni/Al (2:1), N_2 – 2,41 % мас.

Таблица 1.

Элементный состав, % масс.	Образец каталитической системы				
	Сакт	Сакт, Ni/Al (2:1), N ₂	Сакт, Ni/Al (2:1), H ₂	Сакт, Ni/Al (3:1), N ₂	Сакт, Ni/Al (3:1), H ₂
Ni	-	81,2	80,32	89,14	87,38
Al	0,02	15,49	16,22	7,45	8,54
Ca	0,76	0,35	0,35	0,24	0,18
Na	-	2,41	2,54	2,52	3,34

При анализе поверхности и порового пространства наибольшее количество микропор обнаружено в образце Сакт, Ni/Al (3:1), H₂ (0,266 см³/г). Наличие большого объема микропор в каталитических системах, предназначенных для термокаталитических процессов переработки тяжелого нефтяного сырья, приводит к диффузии и адсорбции в их поровом пространстве меньших по размерам молекул смол и полиароматических углеводородов. При выборе каталитических систем на углеродном носителе следует избегать наличия в них микропор. Из анализа литературных данных эффективный диапазон радиуса пор для адсорбции асфальтенов должен составлять для асфальтеновых ассоциатов от ~2 до ~12 нм, для их агрегатов от ~22 до 100 нм [13]. Таким образом, оптимальным диапазоном размеров пор для адсорбции асфальтенов составляет от 10 до 100 нм и выше. Изменение претерпевают и мезопоры (табл. 2) так, после модификации активного угля их количество увеличивается за исключением образца каталитической системы Сакт, Ni/Al (3:1), N₂.

Таблица 2.

Образец	Распределение площади поверхности пор (м ² /г) по их размерам в образцах каталитической системы				Общая площадь пор 10-200 нм, м ² /г
	2-10 нм	10-50 нм	50-100 нм	100-200 нм	
<i>Сакт</i>	97,34	10,95	0,09	0,15	11,19
<i>Сакт, Ni/Al (2:1), N₂</i>	98,27	43,68	0,68	1,37	45,73
<i>Сакт, Ni/Al (2:1), H₂</i>	68,46	28,32	0,08	0,19	28,58
<i>Сакт, Ni/Al (3:1), N₂</i>	75,351	3,81	0,03	0,10	3,94
<i>Сакт, Ni/Al (3:1), H₂</i>	63,39	6,16	0,07	9,66	15,9

Исследуя морфологию внешней поверхности образцов после его импрегнирования оксидами NiO/Al_2O_3 , существенных изменений не было обнаружено. Частицы активного угля имеют различные формы и размеры (рис. 1). Отчетливо видны поры и углубления щелевидной формы диаметром до 1 мкм. После закрепления Ni/Al на поверхности активного угля, видны хорошо диспергированные частицы оксидов. Термообработка каталитических систем на основе активного угля ведёт к сглаживанию рельефа, структура поверхности более однородна по своему дисперсному и морфологическому составу и содержит как частицы неправильной формы до 1 мкм, так и агломераты оксидов размером до 2 мкм.

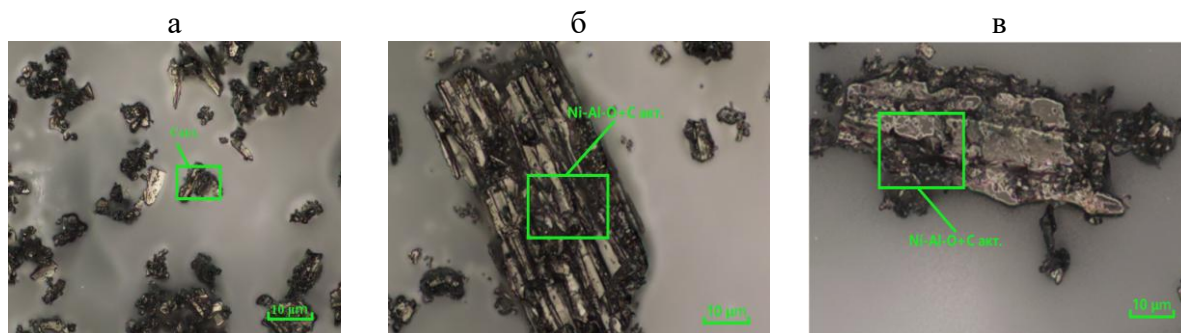


Рисунок 1. Морфология поверхности образцов каталитической системы: а) Сакт; б) Сакт, Ni/Al (3:1), N2; в) Сакт, Ni/Al (3:1), H2

В результате исследования полученных образцов, были выявлены закономерности в структуре катализаторов на углеродном носителе. Участие катализатора на основе переходных металлов является одним из распространенных решений в увеличении степени конверсии смолисто-асфальтеновых компонентов тяжелого статочного сырья.

На основе полученные данных, возможно применение в создании катализаторы для гидрокрекинга тяжелых остаточных фракций. В помощи проведении эксперимента по моделированию каталитических систем на активном угле с разным соотношением солей металлов: C_{акт}, Ni/Al (2:1); C_{акт}, Ni/Al (3:1) принимал участие магистр каф. ХТПНГ Ильменский А.С. совместно с автором Моисеевой Е.Г. В проведение анализа составов, поверхности каталитической системы на углеродном носителе, методами: рентгеноструктурного анализа; рентгенофлуоресцентного анализа и обработке полученных данных по импрегнированию активного угля принимала участие инженер кафедры ХТПНГ Лахова А.И. с автором Моисеевой Е.Г.

Исследование выполнено за счет гранта: Российского научного фонда № 18-77-10023, <https://rscf.ru/project/18-77-10023/>.

Список литературы:

1. Петров С.М. и др. Влияние оксидов металлов и их предшественников на состав конечных продуктов акватермолиза тяжелой Ашальчинской нефти. Процессы, 2021, 9(2):256.
2. Моисеева Е.Г и др. Конверсия тяжелой свехвязкой нефти Ашальчинского месторождения в присутствии активированного угля и сверхкритической водной флюида. Химия и технология топлив и масел, 2021, 57(5):746-752. 752.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Н.Ю. Башкирцева

МУРАДЯН С.А.

Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева

**ПРИКЛАДНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ
ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПРОДУКТОВ РЕАКЦИИ
ДИМЕТИЛФОСФАТСОДЕРЖАЩИХ ИОННЫХ ЖИДКОСТЕЙ ДЛЯ
ЗАПАСАНИЯ ЭНЕРГИИ**

MURADYAN S.A.

Mendeleev University of Chemical Technology of Russia

**APPLIED USE OF MODERN ORGANIC MATERIALS BASED ON
REACTION PRODUCTS OF DIMETHYLPHOSPHATE-CONTAINING IONIC
LIQUIDS FOR ENERGY STORAGE**

Использование ионных жидкостей открывает новые возможности для развития электрохимии. С непрерывным прогрессом общества и насущной потребностью в чистой энергии и благоприятной окружающей среде перезаряжаемые металло-ионные (Li, Na, K, Mg, Zn, Al и т. д.) батареи с длительным сроком службы, высокой плотностью энергии/мощности и безопасностью становятся все более популярными, предпочтительными и перспективными. Хотя было продемонстрировано, что перезаряжаемые литий-ионные аккумуляторы (ЛИА) демонстрируют высокую плотность энергии, нехватка ресурса лития стала потенциальным ограничением для будущих применений. Помимо этого, не существует эффективной промышленной технологии переработки ЛИА. Поэтому другие альтернативные перезаряжаемые батареи на металлической основе рассматриваются как возможные заменители литий-ионных аккумуляторов.

Ионные жидкости (ИЖ) обычно представляют собой расплавленные соли с температурой плавления ниже 373°K. Большинство этих солей являются органическими солями с большим разнообразием конструктивных особенностей. Обычно эти расплавленные соли состоят из асимметрического органического катиона (пиридиния (PY), пирролидиния (PYR), имидазолия (Im), сульфония, аммония и т. д.) и органического/неорганического аниона. Ионные жидкости, как правило, обладают уникальными свойствами, такими, как очень низкое давление паров, нелетучесть, высокая ионная проводимость (10^{-3} – 10^{-2} См см⁻¹), высокая электрохимическая и термическая стабильность в широком диапазоне температур. Комбинация катионов и анионов также может быть индивидуально подобрана для обеспечения заданных физико-химических свойств, таких как температура плавления, ионная проводимость, плотность, показатель преломления, растворимость, вязкость и т. д. Благодаря этим уникальным свойствам ИЖ в настоящее время рассматриваются в качестве нового класса компонентов химических источников тока.

В зависимости от химической структуры ИЖ в основном делятся на три категории: апротонные, протонные и цвиттер-ионные. И апротонные, и протонные ИЖ обладают почти всеми перечисленными выше свойствами, но основное различие между ними заключается в наличии свободного протона или доступного протона на катионе ИЖ протонного типа. ИЖ апротонного типа обладают широким окном стабильного электрохимического потенциала, что делает их подходящими в качестве электролитов для суперконденсаторов и компонентов химических источников тока. ИЖ протонного

типа используются в топливных элементах, а цвиттерионные обычно используются в качестве мембран.

Огромные исследовательские усилия сосредоточены на ИЖ на основе имидазолия в качестве электролитов для литий-ионных аккумуляторов и суперконденсаторов, благодаря их преимуществам, таким как регулируемые физико-химические свойства, низкая вязкость и высокая ионная проводимость. Однако при низких температурах высокая вязкость и низкая электропроводность ИЖ на основе имидазолия затрудняют их крупномасштабное промышленное применение. Для повышения электропроводности ИЖ на основе имидазолия при низких температурах во многих работах обсуждалось смешивание гидрофобных протонных органических растворителей.

Было установлено, что в ходе реакции 1,3-диметилфосфата диметилимидазолия с элементарной серой в среде бензола образуется полисульфидный олигомер $\text{DMeIm}(\text{S}_n)\text{PO}_4(\text{CH}_3)_2$ [1] (рис. 1).

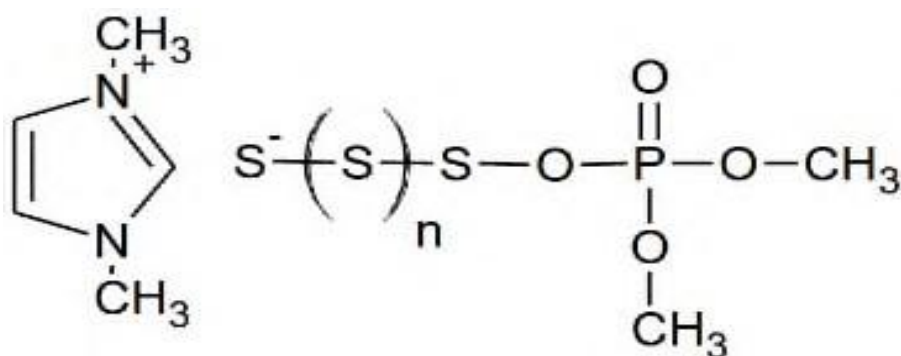


Рисунок 1. Продукт реакции диметилфосфата 1,3-диметилимидазолия с серой - (фосфоноокси)олигосульфанид 1,3-диметилимидазолия

Взаимодействие серы с 1,3-диметилфосфатом диметилимидазолия происходит по атому кислорода диметилфосфат-аниона, несущему отрицательный заряд, в соответствии с рисунком 2.

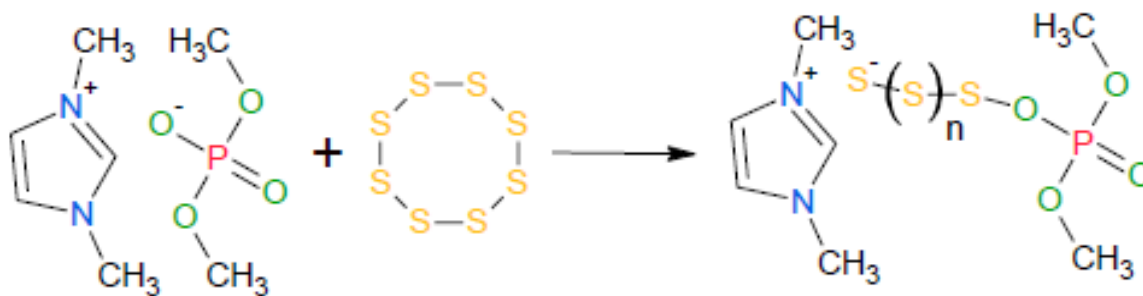


Рисунок 2. Взаимодействие серы с 1,3-диметилфосфатом диметилимидазолия

На основании полученных результатов были сделаны выводы о том, что диметилфосфат-содержащие ионные жидкости имеют возможность связывать элементарную серу в олигомерные формы. Продукт реакции ионной жидкости и серы, по всей видимости, способен образовывать полисульфиды водорода при контакте с

водой [2]. Можно предположить, что таким образом его можно использовать в реакции с NaOH для образования полисульфидов натрия.

Свойства диметилфосфатсодержащих ИЖ, а именно: химическая стабильность высокая реакционная способность при взаимодействии с серой, - делают их идеальным электродом для натрий-серного аккумулятора.

Список литературы:

1. Interaction of ionic liquids with sulfur. N. P. Tarasova, Ya. O. Mezhuev, A. A. Zanin, E. G. Krivoborodov. // Doklady Chemistry, Volume 484, Issue 1, pp 8–11.
2. N.P. Tarasova, A.A. Zanin, E.G. Krivoborodov, I.Y. Toropygin, E. Pascal, Ya.O. Mezhuev The New Approach to the Preparation of Polyacrylamide-Based Hydrogels: Initiation of Polymerization of Acrylamide with 1,3-Dimethylimidazolium (Phosphonooxy-)Oligosulphanide under Drying Aqueous Solutions // Polymers. 2021. Volume 13. Issue 11.

Научный руководитель: д.х.н., профессор Н.П. Тарасова

НАСЫРОВА И.И.

Казанский государственный энергетический университет

ПРИМЕНЕНИЕ ГОФРИРОВАННЫХ ПЛАСТИН В СЕПАРАТОРАХ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОДОНЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ

NASYROVA I.I.

Kazan State Power Engineering University

APPLICATION OF CORRUGATED PLATES IN SEPARATORS FOR SEPARATION OF OIL-WATER EMULSION

Необходимой задачей на многих промышленных предприятиях является деэмульсация водонефтяной эмульсии. В данной работе рассматривается проблема повышения эффективности деэмульсации водонефтяной эмульсии для нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий. При переработке нефти с высоким содержанием воды увеличивается давление в аппаратах, производительность их падает, что требует первичной подготовки нефти по обезвоживанию. Целью данной работы является исследование влияния применения гофрированных пластин на изменение эффективности разделения водонефтяной эмульсии [1].

Механический метод – это простой способ гравитационного отстаивания эмульсии. В настоящее время наиболее популярным и эффективным методом деэмульсации водонефтяной эмульсии является механический. В работе были исследованы сепарационные элементы в виде гофрированных пластин с ориентацией гофр под углом 45°, которые размещаются в отстойнике параллельно друг другу [2]. Процесс деэмульсации водонефтяной эмульсии в отстойнике можно описать следующим образом: на входном патрубке в отстойник задавался массовый расход и диаметр глобул нефти, который варьировался $a = 5–200$ мкм. Исходная водонефтяная эмульсия двигалась параллельно двум гофрированным пластинам, которые вследствие

своей геометрии позволяли создать волновую структуру движения потока, что в свою очередь является причиной интенсификации разделения водонефтяной эмульсии.

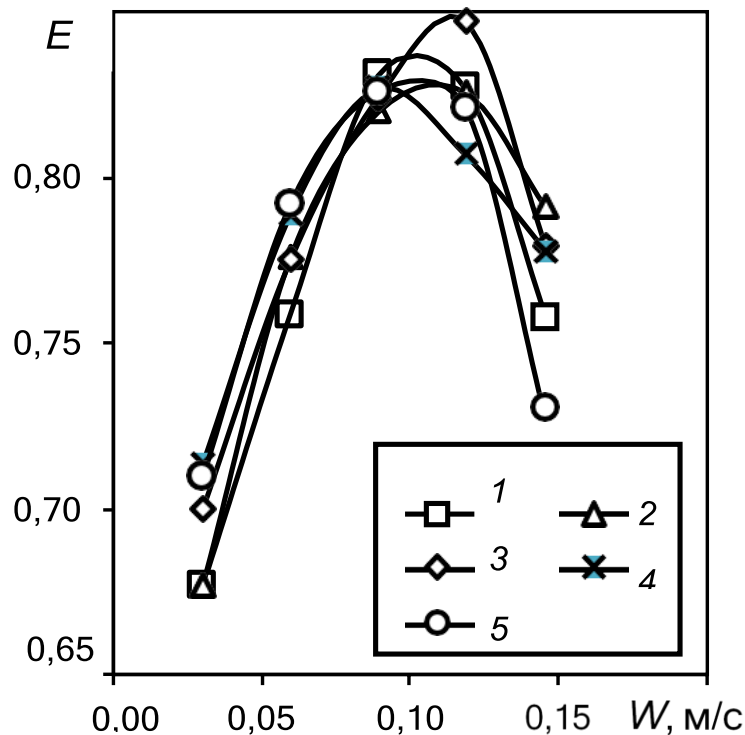


Рисунок 1. Эффективность деэмульсации водонефтяной эмульсии в отстойнике с гофрированными пластинами от ее скорости движения в зависимости от диаметра нефтяных глобул a , мкм: 1 – 5; 2 – 20; 3 – 50; 4 – 100; 5 – 200

В ходе численного моделирования в ANSYS Fluent учитывались следующие постоянные значения: температура окружающей среды 20 °С, количество частиц нефти, вводимых в отстойник $n = 1000$, плотность воды 998,2 кг/м³ и плотность нефти 920 кг/м³. Для получения более обширных данных в ходе численных исследований трехмерная модель устройства увеличивалась в 1,5 и 2 раза. Эффективность разделения водонефтяной эмульсии в отстойнике определялась по следующему выражению $E = 1 - n/1000$, где n – количество глобул нефти на выходном нижнем патрубке отстойника, предназначенном для вывода тяжелой фазы.

Увеличение размера устройства и всех его составляющих в 1,5 и 2 раза показало, что максимальная эффективность деэмульсации водонефтяной эмульсии равная в среднем 80,9 % соответствует диапазону скоростей 0,09–0,12 м/с (рис.1).

При повышении устройства и всех его составляющих элементов в 1,5 раза эффективность деэмульсации водонефтяной эмульсии при скорости ее движения в диапазоне от 0,03 до 0,15 м/с составила в среднем 69,2, 77,6, 82,1, 82,7 и 76,7 % при диаметре нефтяных глобул 5, 20, 50, 100 и 200 мкм, соответственно. Максимальная эффективность деэмульсации составила 84,7 % при скорости движения водонефтяной эмульсии равной 0,12 м/с и диаметре нефтяных глобул равных 50 мкм. Минимальная эффективность деэмульсации была зафиксирована при скорости движения водонефтяной эмульсии 0,03 м/с и диаметре нефтяных глобул 10 мкм, которая соответствовала значению 67,2 % (рис.1).

В результате, применение гофрированных пластин с ориентацией гофр под углом 45° в отстойниках имеет практическую важность для предприятий нефтяной области при механическом методе деэмульсации водонефтяной эмульсии.

Список литературы:

1. Мадышев, И.Н. Исследование влияния диаметра выходных отверстий на эффективность разделения эмульсии в прямоугольных сепараторах / И. Н. Мадышев, В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, С. В. Данг, Г. Р. Бадретдинова // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2020. – Т. 24. – № 6 (155). – С. 1232-1242.
2. Зинуров, В. Э. Исследование процесса деэмульсации водонефтяной эмульсии в отстойнике с гофрированными пластинами / В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, О. С. Дмитриева, В. В. Харьков, А. Р. Галимова // Вестник технологического университета. - 2020. – Т. 23. - № 7. – С. 61-64.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Т.О. Шинкевич

ОРЕХОВА А.С.

Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)

ЭКСТРАКЦИОННЫЕ РАВНОВЕСИЯ В СИСТЕМЕ «NDCL₃-H₂O-P507- ISOPAR-L»

OREHOVA A.S.

Saint Petersburg State Institute of Technology

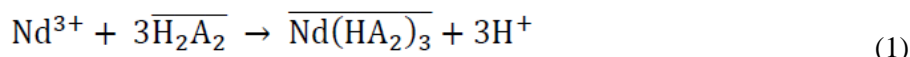
EXTRACTION EQUILIBRIUM IN THE SYSTEM «NDCL₃-H₂O-P507- ISOPAR-L»

В настоящее время основным способом получения высокочистого неодима является многократный непрерывный противоточный процесс экстракционного рафинирования пары Nd/Pr. В монографии [1] представлены современные способы экстракционной отчистки неодима с использованием экстрагентов различного класса.

В работе [2] приведены сведения об экстракции неодима моно-2-этилгексильным эфиром 2-этилгексилфосфоновой кислоты (P507), определена ΔG реакции катионного обмена (1). Знания численных значений изменения свободной энергии Гиббса, изменения энтальпии и энтропии, позволяют подобрать нужные параметры для создания установок и управления технологическим процессом.

Работа посвящена вычислению термодинамических потенциалов экстракции неодима экстрагентом на основе моно-2-этилгексильного эфира 2-этилгексилфосфоновой кислоты (P507).

Экстракция протекает по реакции, описанной в [3]:



Концентрация металла в водной фазе определена методом комплексонометрического титрования, концентрация протонов в рафинате определена методом потенциометрического титрования.

Расчет величин изменения энтальпии (ΔH) и энтропии (ΔS) производился одновременно с нахождением изменений свободной энергии Гиббса (ΔG). Для этого решена система уравнений, включающая уравнения Гиббса-Гельмгольца. Полученные (ΔG_{exp}) и (ΔG_{calc}) в интервале температур от 20^oC до 60^oC представлены на рисунке 1.

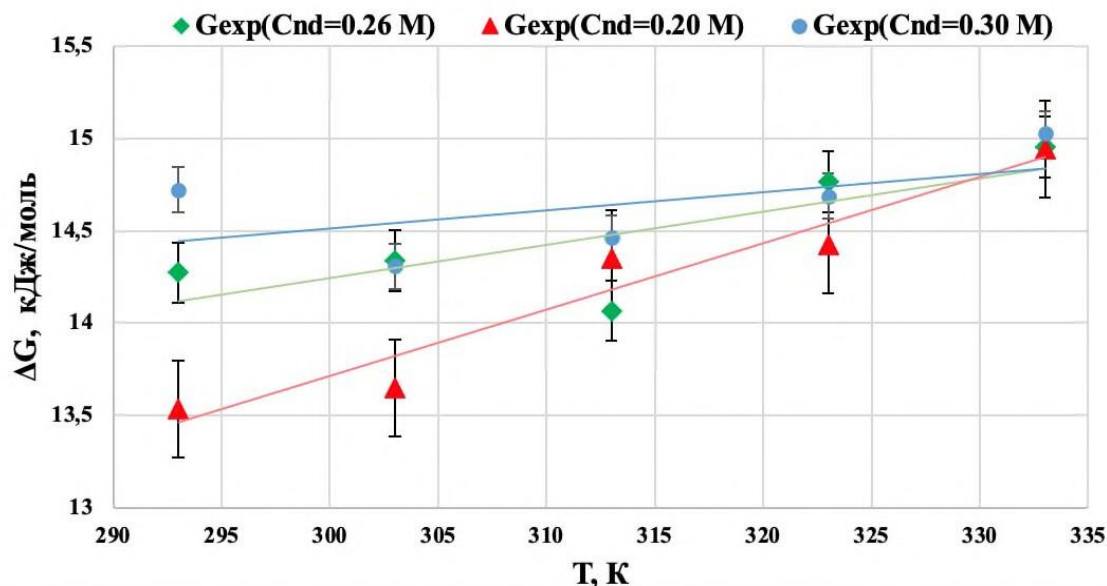


Рисунок 1. Температурные зависимости изменения свободной энергии Гиббса при экстракции неодима P507 из хлоридной среды в интервале 20 – 60^oC

Согласно работе [2] полученное авторами значение изменения свободной энергии Гиббса составило $\Delta G = 15,5$ кДж/моль.

В нашей работе средние значения термодинамических потенциалов для экстракции неодима при 20-60^oC составили: изменения свободной энергии Гиббса $\Delta G = 14,3 \pm 0,23$ кДж/моль; энтальпии: $\Delta H = 15 \pm 0,55$ кДж/моль; энтропии: $\Delta S = 7 \pm 0,9$ Дж/(моль·К).

Список литературы:

1. Separation Hydrometallurgy of Rare Earth / J. Zhang, B. Zhao, B. Schreiner // Springer. – 2016. – P. 79-99;
2. Preparation of high-purity neodymium chloride by solvent extraction in the mixer-settlers: a pilot-scale investigation / L. Fujian, H. Qiaoyan, W. Yanliang, Z. Hong, Z. Shuibo, S. Xiaoqi // Journal of Rare Earths – 2017;
3. Agarwal, V. Solvent extraction and separation of cerium (III) and samarium (III) from mixed rare earth solutions using PC88A / V. Agarwal, M.S. Safarzadeh // Minerals & Metallurgical Processing. – 2017. – Vol. 34. – №. 3. – P. 125-131.

Научный руководитель: к.х.н, доцент М.А. Афонин

ПОПЛАВСКИЙ А.В., МЕНДГАЗИЕВ Р.И., ШУЛЬЦ Д.В.
РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина

**ПОЛУЧЕНИЕ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ *N*-
АЛКАНОВ С ОБОЛОЧКОЙ ИЗ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ**

POPLAVSKIY A.V., MENDGAZIEV R.I., SHULTS D.V.
Gubkin Russian State University of Oil and Gas

**PREPARATION OF HEAT STORAGE MATERIAL BASED ON ENCAPSULATED
N-ALKANES WITH A SILICA SHELL**

В настоящее время существует большое количество практически реализуемых систем аккумулирования энергии, предполагающих её сохранение в виде тепловой, механической или электрической энергии. Несмотря на это вопрос накопления и сохранения тепловой энергии до сих пор остаётся актуальным. Выделяют три основных подхода для хранения тепловой энергии. Первый заключается в накоплении теплоты за счёт увеличения температуры аккумулирующей среды. Вторым подходом связан с термохимическим хранением тепловой энергии. Третий подход связан с использованием фазово-переходных материалов (ФПМ), которые в последние годы привлекают всё большее внимание исследователей. ФПМ могут применяться для аккумулирования тепловой энергии при использовании альтернативных источников энергии [1].

Фазово-переходными материалами называются вещества, которые при определенной температуре претерпевают фазовые переходы, сопровождающиеся выделением или поглощением теплоты. Для аккумулирования тепловой энергии могут использоваться материалы с фазовым переходом жидкость - газ, твердое вещество - газ, твердое вещество - жидкость, твердое вещество - твердое вещество [2]. Однако только последние два случая представляют интерес с практической точки зрения, поскольку переходы жидкость - газ и газ - жидкость сопровождаются большим изменением объема.

ФПМ способны удерживать значительное количество тепловой энергии за счет скрытой теплоты плавления/кристаллизации [3]. Согласно одной из общепринятых классификаций, ФПМ можно разделить на неорганические и органические. К неорганическим ФПМ относятся соли, металлы, кристаллогидраты солей и смеси кристаллогидратов. К органическим ФПМ относятся жирные кислоты, спирты, карбоновые кислоты, амиды, а также парафины. Парафины обладают рядом преимуществ перед остальными органическими ФПМ, а также соответствуют многим предъявляемым к ним требованиям: способностью сохранять фазовую стабильность при многократных фазовых переходах, химической инертностью, а также отсутствием коррозионной активности [4]. Благодаря этим свойствам, парафины и композиции на их основе рассматриваются как приоритетные ФПМ для коммерческого применения в технологиях хранения тепловой энергии.

Несмотря на большое количество исследований в течение последних 40 лет, на данный момент не существует универсального ФПМ, который бы удовлетворял ряду физико-химических критериев одновременно, главным из которых является стабильность. ФПМ должны претерпевать фазовый переход в пределах температурного

интервала предполагаемой эксплуатации, сохранять свой химический состав и свойства на протяжении большого количества циклов плавления/кристаллизации, а также обладать незначительным или полностью отсутствующим эффектом переохлаждения. Существует большое количество методов для повышения стабильности ФПМ. Одним из наиболее эффективных является метод инкапсуляции, заключающийся в получении структур типа «ядро ФПМ - оболочка» [5].

В данной работе авторами был предложен метод получения инкапсулированных ФПМ на основе *n*-парафинов, который позволяет синтезировать капсулы различных размеров и структур. Были синтезированы инкапсулированные ФПМ на основе нормального октадекана ($C_{18}H_{38}$) и эйкозана ($C_{20}H_{42}$), покрытые оболочкой из диоксида кремния. Капсулы размером до 1 мкм были получены с помощью гидролиза тетраэтоксисилана (ТЭОС) на поверхности капле эмульгированной смеси парафина и гексадецилтриметоксисилана (ГДТЭС) в водном растворе аммиака. Экспериментально было определено оптимальное соотношение парафин : ГДТЭС : ТЭОС, обеспечивающее наилучшее значение энтальпии плавления, массового содержания парафина и стабильности термических свойств образцов при термоциклировании. Полученные образцы были охарактеризованы комплексом физико-химических методов, включающих электронную микроскопию, дифференциальную сканирующую калориметрию, фотонную корреляционную спектроскопию и термогравиметрический анализ.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №19-79-30091).

Список литературы:

1. Kaviarasu C., Prakash D. Review on Phase Change Materials with Nanoparticle in Engineering Applications //Journal of Engineering Science & Technology Review. - 2016. - Vol. 9. - №. 4.
2. Zhu X., Shchukin D. Crystallhydrate loaded halloysite nanocontainers for thermal energy storage //Advanced Engineering Materials. - 2018. - Vol. 20. - №. 11. - P. 1800618.
3. Фазово-переходные материалы в энергетике: Современное состояние исследований и перспективы применения / Д.Д. Бухалкин, А.П. Семёнов, А.А. Новиков [и др.] // Химия и технология топлив и масел. - 2019. - №6. - С. 51-56.
4. Nkwetta D., Haghghat F. Thermal energy storage with phase-change material-A state-of-the art review //Sustainable cities and society. - 2014. - Vol. 10. - P. 87-100.
5. Graham M. et al. Highly Stable Energy Capsules with Nano-SiO₂ Pickering Shell for Thermal Energy Storage and Release //ACS nano. - 2020. - Vol. 14. - №. 7. - P. 8894-8901.

Научные руководители: к.х.н., доцент А.А. Новиков; к.т.н., доцент А.П. Семёнов

РОГАЧЕВА А.А.

Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева

КАТАЛИТИЧЕСКИЙ КРЕКИНГ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ МОНОМЕРОВ И МОТОРНЫХ ТОПЛИВ

ROGACHEVA A.A

Mendeleev University of Chemical Technology

CATALYTIC CRACKING OF POLYMER WASTE WITH OBTAINING MONOMERS AND MOTOR FUELS

Увеличение объёмов пластиковых отходов вызывает потребность в их переработке [1]. Переработка полимеров с получением нефтехимического сырья и топливных фракций представляет большой интерес. Однако стоит учитывать, что необходима такая технология и экономическая модель, при которых будет оказываться минимальное воздействие на окружающую среду.

На сегодняшний день существует множество способов переработки пластиков. Среди них выделяют первичные, вторичные и третичные способы переработки полимерного сырья. Первичной называется прямая переработка полимера в новые изделия. Однако стоит учитывать тот факт, что данный способ переработки применим не для всех видов пластиков. Вторичная переработка заключается в сжигании полимеров. Существенным недостатком данного метода является выбросы ядовитых газов, образующихся при горении пластиков, что негативно сказывается на экологической обстановке [2]. И тут на помощь может прийти важнейшее направление в переработке отходов и развитии безотходных производств – химизация. При третичной переработке или химическом рециклинге достигается полная конверсия полимеров, в результате которой получают ценные продукты нефтехимии и топлива. Такой способ даст возможность комплексно переработать полимерные отходы с применением химических наук и промышленности и полностью использовать получаемые в результате продукты.

Стоит также упомянуть, что такая переработка может стать временным решением для практической реализации концепции – RRR (Reduce – Reuse – Recycle): предотвращение (сокращение) образования отходов; повторное использование; рецикл (переработка и использование). Циркулярная экономика – именно это понятие определило принцип RRR. [3]. Такая экономическая модель может помочь создать оборот веществ, при котором не будут истощаться природные ресурсы.

Химическая переработка полимеров с получением нефтехимического сырья и топливных фракций представляет большой интерес, в частности, каталитический крекинг предварительно растворенных в вакуумном дистилляте пластиковых отходов.

В представленной работе изучалась альтернативная переработка полимерных отходов, с применением вакуумного дистиллята в качестве растворителя. В рамках работы на лабораторной установке проведен каталитический крекинг полимеров полипропилена и полиэтилена, растворенных в вакуумном дистилляте (продукте многостадийного разделения нефти), с различными массовыми долями полимерного материала 1%, 3% и 5%.

По результатам представленной работы сделан вывод, что существует возможность полной переработки растворов полипропилена и полиэтилена различными способами в низшие олефины – ценное нефтехимическое сырье (рис. 1) и жидкие продукты, в т.ч. высокооктановый бензин (рис. 2).

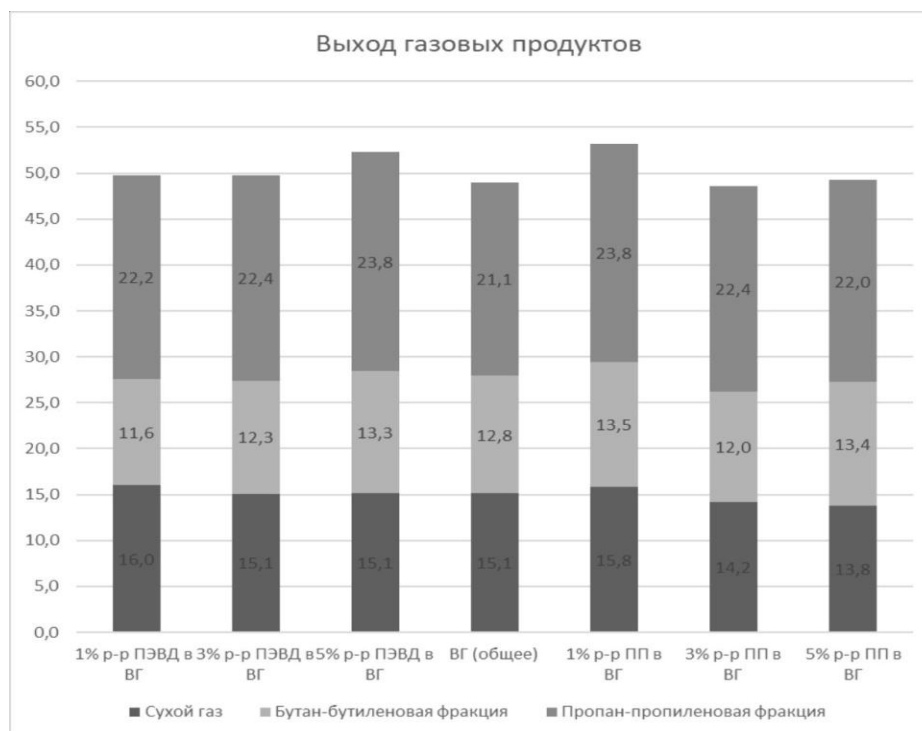


Рисунок 1. Выход основных газовых продуктов

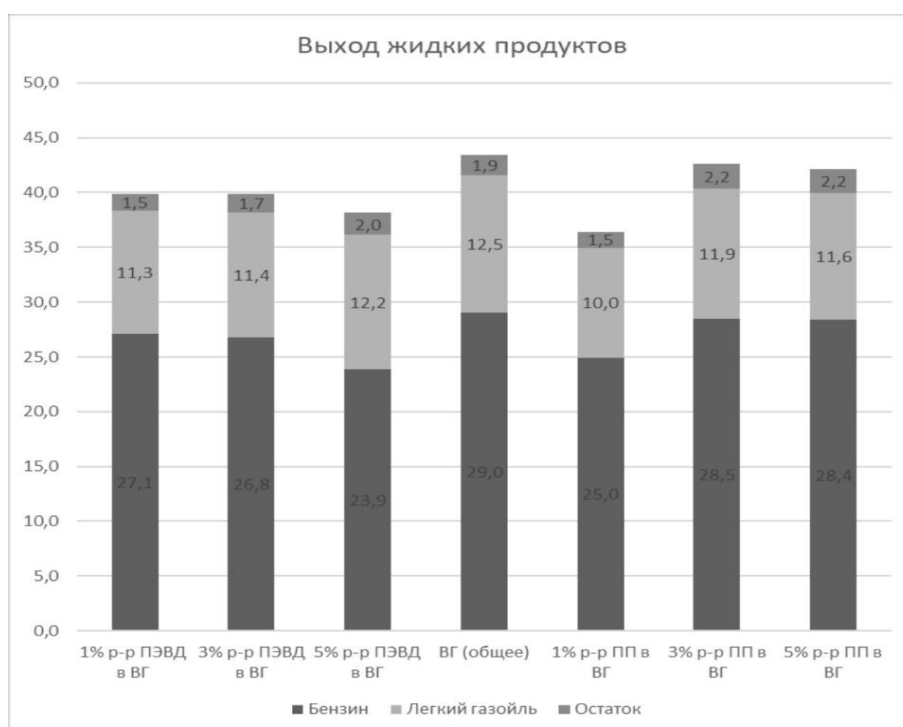


Рисунок 2. Выход основных жидких продуктов

Каталитический крекинг полимерных растворов предотвращает образование отходов при переработке полимеров. Полученные в ходе эксперимента моторные топлива и сырьё для нефтехимии могут повторно использоваться, а также возможно их дальнейшее возвращение в рецикл. Такая переработка позволяет заменить часть вакуумного дистиллята, что одновременно повышает эффективность нефтепереработки и является частичным решением экологических проблем, связанных с утилизацией полимеров.

Исследование направлено на достижение 12 цели устойчивого развития: Обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства, чтобы «делать больше и лучше меньшими средствами».

Список литературы:

1. B. Mlynková, M. Bajus, E. Hájeková, G. Kostrab, D. Mravec, Fuels obtained by thermal cracking of individual and mixed polymers, Chem. Pap. 64 (2010) 15–24. <https://doi.org/10.2478/s11696-009-0102-y>.
2. G. De La Puente, U. Sedran, Recycling polystyrene into fuels by means of FCC: Performance of various acidic catalysts, Appl. Catal. B Environ. 19 (1998) 305–311. [https://doi.org/10.1016/S0926-3373\(98\)00084-8](https://doi.org/10.1016/S0926-3373(98)00084-8).
3. Хачатуров А.Е. «Зелёная» экономика и современный менеджмент: учеб. пособие. М. РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2022. – 121 с.

Научный руководитель: д.э.н., профессор А.Е. Хачатуров-Тавризян

РОМАНОВА Н.А., КОНДРАТЬЕВ. Н.В., ЛЕОНТЬЕВ В.С.
Санкт-Петербургский горный университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАСАДОК С НИЗКИМ ГИДРАВЛИЧЕСКИМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ ПРИ ОБЪЕДИНЕНИИ РЕКТИФИКАЦИОННЫХ КОЛОНН В АППАРАТУРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ БЛОКИ

ROMANOVA N.A., KONDRATEV N.V., LEONTIEV V.S.
Saint Petersburg Mining University

USE OF PACKING WITH LOW HYDRAULIC RESISTANCE WHEN COMBINING RECTIFICATION COLUMNS IN UNIT-ENERGETICAL BLOCKS

Введение

В нефтехимической отрасли модернизацию ректификационных комплексов можно разделить на два этапа: аппаратурное вмешательство, например, замена контактных устройств на более эффективные, и создание аппаратурно-энергетических блоков – опери рование материальными потоками сырья, продуктов, теплоносителей [1-3]. В данной работе на примере модернизации установки выделения диэтилбензола предлагается замена в одной из колонн тарельчатых контактных устройств на насадки, обладающие меньшим гидравлическим сопротивлением, что в свою очередь позволит объединить две ректификационные колонны в аппаратурно-энергетический блок.

Основная часть

Рассмотрим технологическую схему выделения диэтилбензольной фракции, которая приведена на рисунке 1.

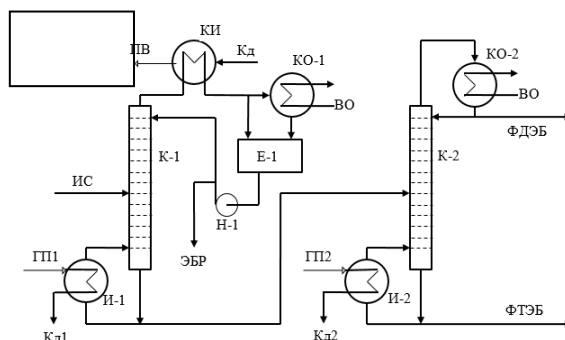


Рисунок 1. Схема выделения этилбензола-ректификата и фракции диэтилбензола при использовании тарельчатых колонн.

Моделирование исходной схемы проводилось в программе Aspen Hysys. Условием создания замкнутого энергетического блока является равенство количества тепла, подводимого в куб одной из колонн, количеству тепла, снимаемому в дефлегматоре второй колонны, с одновременным обеспечением требуемого температурного напора.

Замена тарельчатых контактных устройств на регулярные насадки, обладающие меньшим гидравлическим сопротивлением, неизменно повлечет за собой изменение температурного профиля колонны. Моделирование показало, что температура куба колонны К-2 снизится с $\sim 150\text{ C}$ до $\sim 100\text{ C}$. Таким образом, произведя анализ температурных профилей колонн, несложно прийти к выводу, что частичное перенаправление верхнего потока К-1 с температурой $\sim 150\text{ C}$ в куб колонны К-2 с температурой $\sim 100\text{ C}$ создаст температурный напор в $\sim 50\text{ C}$, что будет достаточным для значительного снижения нагрузки на ребойлер колонны К-2. Замена решетчатых провальных тарелок колонны К-2 на регулярную насадку с низким гидравлическим сопротивлением, характеристики которой приведены в таблице 1, обеспечит снижение давления в кубе колонны К-2 без изменения прочих технологических параметров.

Таблица 1. Характеристика пакета регулярной насадки Шеврон 14-4.

Тип насадки	Эффективность, п т.т./м	$F = w \cdot \sqrt{\rho_n},$ кг ^{0.5} /(с*м ^{0.5})	$I = F \cdot \sqrt{\rho_n} \cdot \eta,$ кг/м ³ *с	I ₁ /I ₁
Шеврон 14-4*	6	2,5	18	0,99
*- Насадка регулярная упругая производства «ИнТАРекС», выполненная в виде пакетов с эк-вивалентным диаметром равным диаметру колонны из гофрированной полосы типа «Шеврон» с шагом 14 мм, высотой гофра 4 мм				

Таким образом, после модернизации технологическая схема установки выделения диэтилбензола принимает вид, изображенный на рисунке 2.

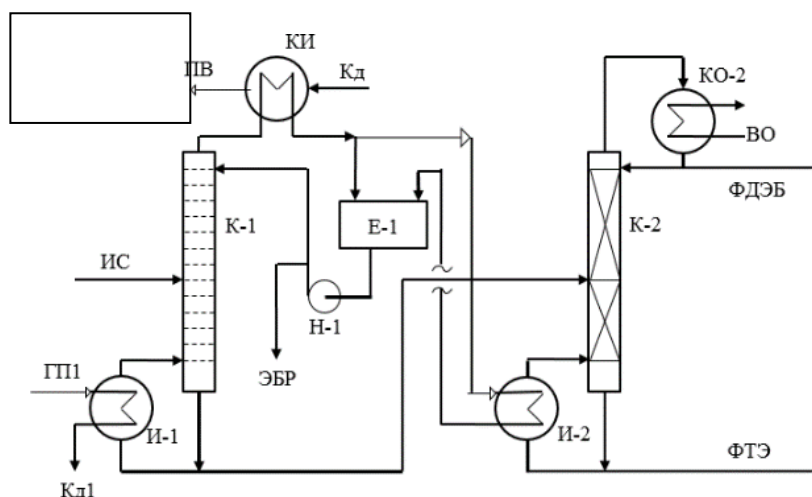


Рисунок 2. Схема выделения этилбензола-ректификата и фракции диэтилбензола после модернизации

Заклучение

Объединение колонн в аппаратно-энергетические блоки в совокупности с аппаратной модернизацией в виде замены тарельчатых контактных устройств на пакеты насадок позволяет значительно снизить энергетическую нагрузку на ребойлер колонны с замененными контактными устройствами.

Список литературы:

1. Леонтьев, В.С. Безопасные технологии: оборудование для модернизации действующих производств и создания новых технологий / В.С. Леонтьев // Химия и бизнес. – 2015. – № 3-4.
2. Леонтьев, В.С. Инновации в области разработки высокоинтенсивных массообменных устройств для модернизации ректификационных комплексов [Электронный ресурс] / В.С. Леонтьев // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2012. – №1. – С. 178-186. Режим доступа: http://www.ogbus.ru/authors/Leontiev/Leontiev_1.pdf
3. Леонтьев, В.С. Энергетическая оптимизация многоколонных ректификационных комплексов [Электронный ресурс] / В.С. Леонтьев // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2012. – №2. – С. 245-254. – Режим доступа: http://www.ogbus.ru/authors/Leontiev/Leontiev_3.pdf
4. J.J.Gualito, F.J. Cerino, J.C. Cardenas and J.A.Rocha. Design Method for Distillation Columns Filled with Metallic, Ceramic, or Plastic Structured Packings., Ind. Eng. Chem. Res. 1997, 36, 1747-1757.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Н.А. Романова

САКОВИЧ А.В.
Полоцкий государственный университет

**ВЛИЯНИЕ АНТИОКИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРИСАДОК НА ПОВЫШЕНИЕ
ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ГИДРОКРЕКИНГОВЫХ БАЗОВЫХ
МАСЕЛ**

SAKOVICH A.V.
Polotsk State University

**INFLUENCE OF ANTIOXIDANT ADDITIVES ON INCREASING THE OXIDATION
STABILITY OF HYDROCRACKED BASE OILS**

Использование гидрогенизационных процессов при производстве базовых масел позволяет получать высококачественные гидрокрекинговые товарные масла с улучшенными техническими характеристиками по сравнению с традиционными минеральными маслами. Гидрокрекинговые базовые масла обладают высоким индексом вязкости, лучшей приемистостью к присадкам, более экологически чистые [1, 2]. Однако у глубокоочищенных гидрокрекинговых базовых масел имеются и недостатки. В частности, они характеризуются низкой устойчивостью к автоокислению кислородом воздуха при хранении, что приводит к изменению их цвета и химического состава, повышению коррозионной активности, образованию осадка.

Эффективными природными ингибиторами окисления углеводородов базовых масел являются алкилсульфиды. Они легко реагируют с пероксидами с образованием сульфоксидов и сульфонов, тогда как тиофены и диарилсульфиды менее эффективны [3]. Однако в процессе гидрокрекинга соединения серы, как и другие естественные ингибиторы окисления углеводородов, практически полностью удаляются. Для улучшения окислительной стабильности базовых гидрокрекингового масла могут применяться антиокислительные присадки. Антиокислительные присадки уменьшают скорость окисления, старения масла, накопления в масле продуктов окисления, из которых формируются углеродистые отложения на механизмах.

В качестве антиокислительных присадок были выбраны: алкилароматический амин и алкилфенол.

Алкилароматический амин представляет собой желтую с коричневым оттенком вязкую жидкость с плотностью при 20°C равной 952,0 кг/м³ и вязкостью при 40°C 675,0 мм²/с. Растворяется в гидрокрекинговых маслах он достаточно плохо и склонен к седиментации. Для растворения присадки в масле требуется интенсивное перемешивание и нагревание до температуры (60-70) °C. Масло, ингибированное присадкой, окрашивается в светло желтый цвет.

Алкилфенольная представляет собой белые кристаллы с плотностью 1048,0 кг/м³. Она не токсична, разрешена для применения в изделиях, контактирующих с пищевыми продуктами и биологическими организмами. Температуры плавления и кипения присадки равны соответственно 71°C и 265°C. При растворении в гидрокрекинговых маслах также склонна к седиментации. Но при интенсивном перемешивании и нагревании полностью растворяется в масле, не ухудшая его цвета.

Очищенное гидрокрекингговое масло после растворения в нем алкилфенола остается бесцветным и прозрачным [3].

Главным преимуществом алкилфенольной присадки является то, что она почти полностью предупреждает образование осадка в хорошо очищенных маслах [4].

При автоокислении кислородом происходит образование осадка и изменение цвета [4]. Если присадка работает эффективно, то коэффициент пропускания света будет достаточно большим, так как не образовался осадок и не произошло изменение цвета.

Изменение коэффициента пропускания света образцом гидрокрекинггового масла в результате термообработки при 200°C до и после добавления антиокислительных присадок представлено на рисунке 1. Измерения проводились на спектрофотометре ПЭ-5400УФ.

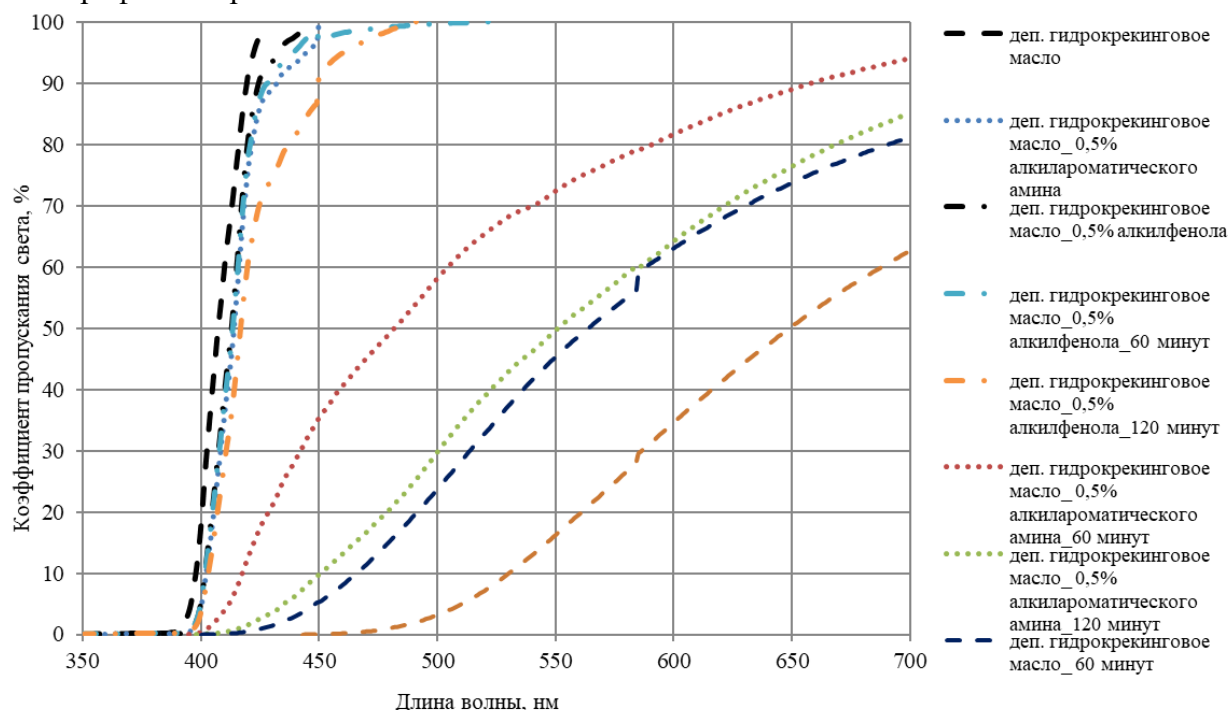


Рисунок 1. Изменение коэффициента пропускания света образцом гидрокрекинггового базового масла в результате термообработки при 200°C до и после добавления антиокислительных присадок

В результате термообработки наименьший коэффициент пропускания у образца исходного масла. Добавление 0,5% масс. алкилароматического амина несколько улучшает термоокислительную стабильность масла так как коэффициент света пропускает выше, чем у исходного масла. Однако в значительно меньшей степени, чем введение в него такого же количества алкилфенольной присадки.

Введение в гидрокрекингговые масла антиокислительных присадок позволяет существенно повысить их устойчивость к окислению, снизить интенсивность образования осадка и накопления кислых соединений. Наиболее эффективным ингибитором окисления для гидрокрекинггового масла является алкилфенольная присадка.

Список литературы:

1. Petro-Canada Lubricants Handbook 2017. Industry-leading products for improved business performance. Petro-Canada Lubricants Inc. Mississauga, Ontario, Canada. 2017. p. 228.
2. Технология и маркетинг гидрокрекингových базовых масел./ Автомобильные масла и смазки. Масла ConocoPhillips [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://masla55.ru/3> – Дата доступа: 10.04.2022 г.
3. Черножуков, Н.И. Окисляемость минеральных масел./ Н.И.Черножуков, С.Э. Крейн – М.: Гостоптехиздат, 1959. – 370 с.
4. Ахметов, С.А. Физико-химическая технология глубокой переработки нефти и газа: учебное пособие. Ч.1 – Уфа: Изд-во УГНТУ, 1996. – 279 с.

Научный руководитель: магистр П.Ф. Гришин

СЕВЕРГИНА Е.С.

Ивановский государственный химико-технологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ АДСОРБЦИОННО-КАТАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ВЕРМИКУЛИТА

SEVERGINA E.S.

Ivanovo State University of Chemical Technology

INVESTIGATION OF THE SURFACE PROPERTIES OF AN ADSORPTION-CATALYTIC SYSTEM BASED ON MODIFIED VERMICULITE

Вермикулит и сорбционно-каталитические системы на его основе в настоящее время находят широкое применение в процессах очистки воды от разных типов загрязнителей [1]. Причинами такого активного интереса к этому минералу являются его высокая распространенность в природе, относительно низкая стоимость и активность в адсорбционных и каталитических процессах. Благодаря этому актуальность применения вермикулита в различных отраслях катализа и адсорбции, где он выступает как в роли активного компонента, так и в качестве носителя, довольно высока. Помимо этого следует отметить такие его свойства, как: низкая плотность, высокая химическая стабильность, адсорбционная способность, катионообменная емкость и т.д. Для достижения полноты протекания адсорбционно-каталитических процессов на поверхности вермикулита необходимо повышать ионообменную ёмкость, которая сильно зависит от методов активации поверхности вермикулита [2]. Одним из основных показателей любых сорбционных систем являются свойства её поверхности, в том числе наличие кислотно-основных центров. Развитые кислотно-основные свойства вермикулита возникают вследствие изменения отношения Si к Al. Именно этот показатель оказывает влияние на количество доступных ионообменных центров [3,4]. Метод термопрограммируемой десорбции, благодаря своей доступности, скорости и хорошей визуализации, на сегодняшний день позволяет определить кислотно-основные свойства поверхности. По десорбции зондовых молекул используемого газа записывается энергетический спектр

образцов и расчетным методом определяются количество и концентрацию активных центров, энергию активации в различных формах десорбции.

Таким образом, актуальным вопросом является исследование свойств поверхности адсорбционно-каталитических систем на основе вермикулита в зависимости от способа активации (механохимическая и плазмохимическая обработки) с целью возможности регулирования и прогнозирования сорбционных и каталитических характеристик в отношении процессов очистки высокотоксичных соединений.

Синтез катализаторов проводили при совместной механохимической активации исходных компонентов: вермикулит и оксихлорид циркония восьмиводный ($ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$), взятых в соотношении, обеспечивающим содержание Zr^{4+} в смеси 5 мас.%. Активация природного вермикулита осуществлялась в вибрационной ролико-кольцевой мельнице (VM-4). В работе использовались следующие методы анализа: рентгено-фазовый анализ, ИК-спектроскопия, термогравиметрический анализ, сорбционный анализ определения удельной поверхности по методу БЭТ. Плазмохимическая обработка катализатора производилась с использованием установки диэлектрического барьерного разряда.

Проведен сравнительный анализ воздействия ПХО на модифицированный вермикулит методом МХА с промотирующей добавкой в среде различных газов. В результате синтеза образуются более реакционноспособные образцы, обладающие развитой морфологией поверхности. Если для исходного вермикулита величина удельной поверхности составила $7,0 \pm 0,35 \text{ м}^2/\text{г}$, а количество Бренстедовских кислотных центров $0,53 \pm 0,053 \text{ ед}/\text{м}^2 \cdot 10^{-17}$ (для T_3) с энергией активации $10,54 \pm 0,527 \text{ кДж}/\text{моль}$ (для N_3), то после воздействия МХА удельная поверхность увеличилась до $21,3 \pm 1,07 \text{ м}^2/\text{г}$, а количество Бренстедовских кислотных центров для T_3 возросло в 3,5 раза, как и значения энергии активации. Однако прямая зависимость нарушается при дополнительной ПХО образца обработанного в среде O_2 с промотирующей добавкой Zr в масс. количестве 5%: происходит уменьшение величины удельной поверхности до $\sim 15,1 \text{ м}^2/\text{г}$, что сопровождается уменьшением значений кислотности до $1,34 \div 1,44 \text{ ед}/\text{м}^2 \cdot 10^{-17}$ в сравнении с образцом только при механохимической активации, при росте значений энергии активации до $33,66 \div 37,25 \text{ кДж}/\text{моль}$ для температурной пика T_3 . Подобная корреляция прослеживается не только для температурного диапазона T_3 , но и для остальных зон, и объясняется тем, что воздействие ПХО изменяет структуру вермикулита и существенно меняет химию поверхности.

Список литературы:

1. Grinevich, V.I., Rybkin, V.V., Lyubimov, V.A., Gushchin, A.A., 2017. Destruction of oil hydrocarbons in water solutions with oxygen dielectric barrier discharge of atmospheric pressure. *Izv. Vyss. Uchebnykh Zaved. Seriya Khimiya Khimicheskaya Tekhnologiya*. 60, 20-27.
2. Ilyin, A.A., Rummyantsev, R.N., Zhukov, A.B., Ilyin, A.P., 2016. Mechanochemical synthesis of iron-molybdenum catalyst for formaldehyde synthesis. *Nanotechnologies Russ.* 11, 569-578.
3. A.A. Melnikov, N.E. Gordina, A.P. Sinitsyn, G.I. Gusev, A.A. Gushchin, R.N. Rummyantsev, Investigation of the influence of mechanochemical effects on the structure and properties of vermiculite sorbents, *Journal of Solid State Chemistry*, Volume 306, 2022, 122795, ISSN 0022-4596, <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2021.122795>.
4. Melnikov, A.A., Gordina, N.E., Tyukanova, K.A., Gusev, G.I., Gushchin, A.A., R.N., R., 2021. Synthesis of sorption systems based on mechanochemically activated vermiculite. *ChemChemTech* 64, 63-71.

Научный руководитель: д.т.н., ректор Н.Е. Гордина

СЕЛЕЗНЕВА А.В.
Санкт-Петербургский горный университет

**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ВЫХОД
ПРОДУКТОВ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА**

SELEZNEVA A.V.
Saint Petersburg Mining University

**STUDY OF THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THE
YIELD OF CATALYTIC CRACKING PRODUCTS**

В работе представлены зависимости величины конверсии сырья, выхода и состава продуктов каталитического крекинга от ключевых технологических параметров, таких как соотношение катализатор:сырье, температура сырья, расход и давление в реакторе. Выявление данных зависимостей является важным этапом при проектировании и оптимизации установок каталитического крекинга.

Актуальность исследования состоит в том, что оно относится к области проблемы увеличения глубины переработки нефти, которая в настоящее время является одной из центральных. Глубокая переработка является важнейшим показателем технологического совершенства нефтеперерабатывающего предприятия. Выявленные зависимости выхода светлых продуктов от технологических параметров могут внести существенный вклад в создание надежной руководящей основы для фактического контроля, планирования и модернизации установок каталитического крекинга.

Цель работы заключалась в разработке модели лифт-реактора каталитического крекинга в программе Aspen HYSYS и оценке влияния технологических параметров на выход продуктов процесса. Также был найден оптимальный режим работы лифт-реактора для получения высокооктанового компонента бензина.

Анализ полученных данных показал, что увеличение соотношения катализатор:сырье приводит к увеличению конверсии сырья и выхода газообразных продуктов и кокса. Выход бензиновой фракции увеличивается, но до определенного значения. Увеличение температуры сырья привело к уменьшению величины конверсии и соотношения катализатор:сырье. На выход продуктов данный параметр влияет незначительно. Увеличение расхода сырья приводит к снижению выхода бензиновой фракции и величины конверсии сырья. Увеличение давления в реакторе приводит к увеличению конверсии и выхода бензиновой фракции, но также влечет повышенное отложение кокса на катализаторе.

На основе изучения полученной модели был выбран оптимальный режим работы лифт-ректора с целью получения максимального выхода бензиновой фракции: температура в реакторе 510 °С, давление в реакторе 0,3 МПа, соотношение катализатор:сырье 10:1.

Таким образом, полученные зависимости выходов продуктов процесса от основных технологических параметров открывают пути оптимизации существующих установок каталитического крекинга на базе программного обеспечения Aspen HYSYS.

Список литературы:

1. Ахметов, С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа: Учебное пособие для вузов. Уфа: Гилем, 2002. – 672 с.
2. Потехин, В.М., Потехин В.В. Основы теории химических процессов технологии органических веществ и нефтепереработки: Учебник.– 3-е изд., испр. и доп.-СПб.: Издательство «Лань», 2014. – 896 с.
3. Задегбейджи, Р. Каталитический крекинг в псевдооживленном слое катализатора. Справочник по эксплуатации, проектированию и оптимизации установок ККФ: пер. с англ. яз. 3-его изд.; под ред. О. Ф. Глаголевой. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2014. – 384 с.
4. Кузнецов, О. А. Моделирование установки переработки нефти в Aspen HYSYS V8 / О. А. Кузнецов. – М.-Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 133 с.

Научные руководители: д.т.н., профессор Н.К. Кондрашева, к.х.н., доцент В.Н. Клементьев

СЕМЕНИУК П. Р.

Югорский государственный университет

ПРИМЕНЕНИЕ ВОДОСТОЙКИХ ОПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ИОНОЛА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАСЛАХ МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

SEMENYUK P.R.

Ugra State University

APPLICATION OF WATER-RESISTANT OPTICAL MATERIALS IN THE DETERMINATION OF IONOL IN ENERGY OILS BY IR-SPECTROSCOPY

Энергетические масла используются в маслonaполненном оборудовании, выполняя функции охлаждающего, изолирующего, информационно-диагностического и защитного агента. В ходе эксплуатации жидкий диэлектрик подвергается жестким условиям в виде нагревания, светового воздействия, высокого напряжения электрического поля, что приводит к его нежелательному старению и снижает срок их эксплуатации, приводя к аварийному выходу из строя трансформатора с последующим дорогостоящим ремонтом. В связи с этим разработка новых и совершенствование существующих методов аналитического контроля для диагностики состояния энергетического оборудования является актуальной темой для исследования [1]. Обязательным компонентом энергетических масел является антиоксидантная добавка – ионол. Концентрация добавки в свежих маслах установлена в диапазоне 0,1–0,4%

С целью своевременного выявления снижения ингибитора в масле высоковольтного оборудования методами химического анализа с установленной периодичностью проводятся лабораторные исследования. Для количественного анализа ионола на данный момент используются методы тонкослойной

хроматографии, газожидкостной хроматографии, высокоэффективной жидкостной хроматографии и ИК-спектроскопии [2].

Основным недостатком существующих методов ИК-спектроскопии является трудоемкая процедура регистрации спектров и использование соляной оптики, которая легко повреждается в результате механических повреждений и воздействия влаги. В настоящее время стали доступны оптические материалы, лишенные недостатков соляной оптики. Одним из наиболее доступных материалов на сегодня является селенид цинка. В связи с этим целью настоящей работы является изучение возможности использования кристалла селенида цинка в качестве аналога соляной оптики для анализа ионола в трансформаторных маслах методом ИК-спектроскопии. Для достижения поставленных целей требовалось решить следующие задачи:

1. Изучение ИК спектра ионола и выбор аналитической полосы поглощения для цели количественного химического анализа;
2. Оценка прозрачности оптического материала из кристалла селенида цинка в области поглощения аналитической полосы ионола;
3. Выбор оптимальной длины оптического пути ячейки для количественного анализа трансформаторного масла, содержащего ионол в диапазоне концентраций 0,1– 0,4 % (мас.).
4. Оценка погрешности и проверка правильности усовершенствованного метода определения ионола.

Объектами анализа являлись:

- ГСО 10203–2013 массовой доли ионола в трансформаторном масле 0,1% (мас.), 0,2% (мас.), 0,4% (мас.);
- Маслотрансформаторное ТКп свежее, окисленное в присутствии кислорода и окисленное в присутствии кислорода и меди;
- Маслотрансформаторное NYTRO 11GX свежее, окисленное в присутствии кислорода и окисленное в присутствии кислорода и меди;
- Образцы масла из работавших трансформаторов ТТ-1 и ТТ-2;
- Окна из монокристалла селенида цинка толщиной 2 мм.

ИК-спектры объектов анализа регистрировали на ИК-Фурье-спектрометре FT-801 (Simex) в режиме пропускания в спектральном диапазоне 4000-600 см⁻¹, с разрешением 4 и числом сканирования 16.

В ходе результате экспериментов было установлено, что окна из селенида цинка являются прозрачными во всем регистрируемом спектральном диапазоне. Изучив ИК- спектр ионола и базового минерального масла, в качестве аналитической была выбрана полоса с волновым числом 3651 см⁻¹. Оптимальная длина оптического пути измерительной ячейки при определении концентрации ионола в трансформаторном масле составляет 0,6 мм. Зависимость оптической плотности в максимуме полосы поглощения от концентрации ионола в трансформаторном масле подчиняется линейной функции с высоким коэффициентом корреляции. Относительная погрешность определения ионола в трансформаторном масле в выбранных условиях не превышала 3%. Проверку правильности предложенного способа определения ионола проводили методом «введено – найдено». По результатам проверки была подтверждена правильность метода в пределах указанной погрешности.

Таким образом показана возможность использования оптики из кристалла селенида цинка для анализа трансформаторного масла методом ИК-спектроскопии.

Оптимальная длина оптического пути составила 0,6 мм. Относительная погрешность определения ионола в диапазоне концентраций 0,1-0,4% (мас.) не превышает – 3%.

Список литературы:

1. Коробейников, С. М. Исследование технологических операций, влияющих на определение концентрации присадки Ионол в изоляционном масле высоковольтного оборудования / С. М. Коробейников, М. Н. Лютикова // Проблемы региональной энергетики. – 2018. – № 1(36). – С. 96-105.
2. Фасыхов, А. Р. Анализ методов диагностики трансформаторного масла / А. Р. Фасыхов, А. В. Крахмалец // Тинчуринские чтения - 2021 "Энергетика и цифровая трансформация" : Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3- х томах, Казань, 28–30 апреля 2021 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью Полиграфическая компания "Астор и Я", 2021. – С. 294-297.

Научный руководитель: д.т.н., профессор С.В. Нехорошев

СОЛДАТКИНА А.Д.

Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева

**СИНТЕЗ И РАСТВОРИМОСТЬ СЕРЕБРОСОДЕЖАЩИХ
КАЛЬЦИЕВОФОСФАТНЫХ СТЕКОЛ**

SOLDATKINA A.D.

Mendeleev University of Chemical Technology of Russia

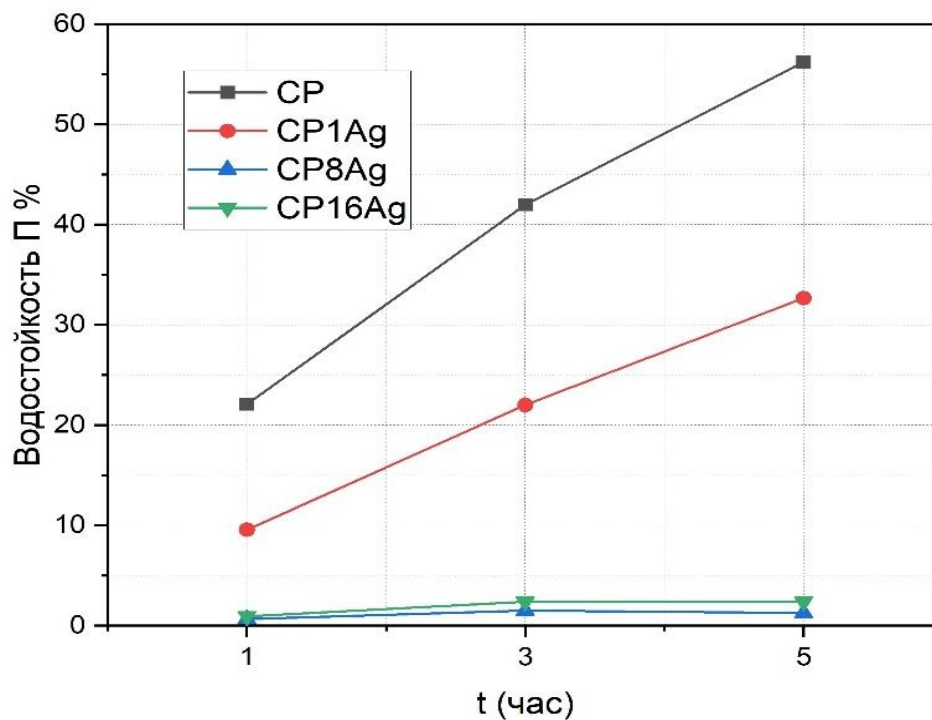
**SYNTHESIS AND SOLUBILITY OF SILVER-CONTAINING CALCIUM-
PHOSPHATE GLASSES**

Кальциевофосфатная матрица обладает хорошей и контролируемой растворимостью в воде. В состав стекла можно ввести различные антибактериальные компоненты, например серебро. При растворении стекла выделяются ионы серебра, которые ингибируют образование микроорганизмов на поверхности. Такие стекла можно использовать в качестве добавки в глазурь для плитки. В данной работе мы изучили влияние растворимости в дистиллированной воде серебросодержащих кальциевофосфатных стекол.

Угроза возникновения и распространения вредных микроорганизмов (бактерии, грибы) и вирусов обуславливает интенсивное развитие новых антибактериальных материалов и технологий. В связи с этим интерес вызывают фосфатные стекла, которые благодаря ряду уникальных свойств, широко используют в оптике, лазерной технике и системах хранения информации [1]. В то же время фосфатные стекла, растворимость в водных растворах которых можно регулировать в широких пределах, можно рассматривать в качестве носителей ионов, обладающих бактерицидным действием

(Cu^+ , Ag^+ , Zn^{2+} , Mn^{2+} и др.). При взаимодействии с водой стекла выделяют бактерицидные ионы, которые при взаимодействии с микроорганизмами проникают внутрь клеточной мембраны и вызывают их гибель. Наблюдаемый эффект обеспечивает перспективность применения фосфатных стекол, содержащих бактерицидные ионы, при создании фильтров для очистки воды, антибактериальных волокон и тканей различного назначения, а также в качестве добавки к глазурям и эмалям для создания покрытий на керамических и металлических изделиях.

Настоящая работа посвящена изучению растворимости в дистиллированной воде серебросодержащих кальциевофосфатных стекол составов $x\text{Ag}_2\text{O}-(100-x)[50\text{CaO}-50\text{P}_2\text{O}_5]$ ($x = 0, 1, 8, 16$ мол.%). Выбор серебра в качестве антибактериального иона обусловлен высокой эффективностью к ингибированию бактерий *E. Coli* и *S. Aureus*, а также возможным подавлением вируса SARS-CoV-2 [2]. Синтез серии стекол с различным содержанием Ag_2O был осуществлен методом варки при температуре 1300°C . Полученные отливки стекла с добавкой 0, 1 и 8 мол.% Ag_2O обладали высокой прозрачностью, отсутствием окраски и кристаллических включений. При введении в состав 16 мол.% Ag_2O наблюдали кристаллизацию стекол на стадии выработки, вызванную образованием кристаллических фаз пиррофосфатов кальция ($\alpha\text{-Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ и $\beta\text{-Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$). Исследование растворимости было осуществлено путем кипячения 4 г тонкодисперсных порошков синтезированных стекол с размером частиц < 315 мкм в 50 мл дистиллированной воды. Установлено, что повышение содержания Ag_2O в составе стекла приводит к снижению потерь массы порошков при кипячении в течение 1, 3 и 5 часов (Рисунок 1).



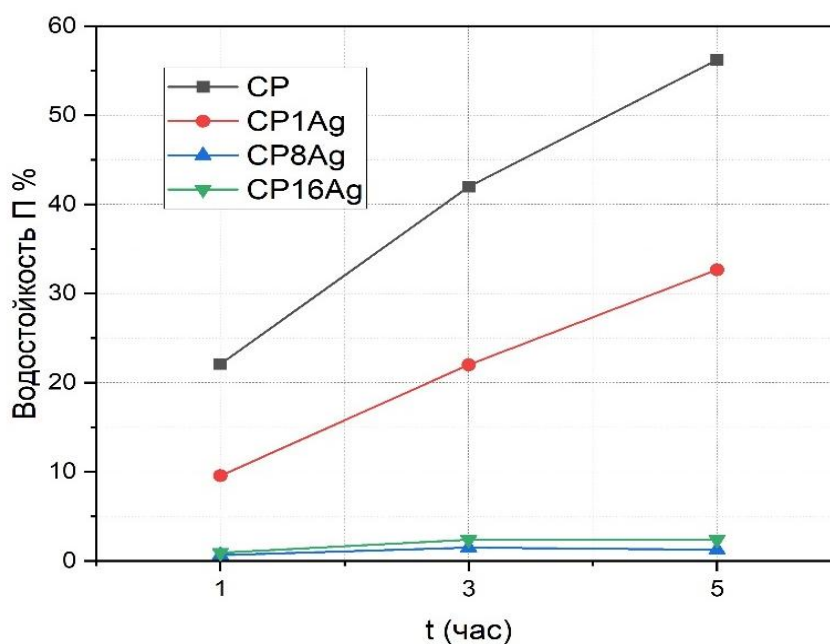


Рисунок 1. Зависимость водостойкости стекл от времени

Для всех составов стекол отмечена тенденция к увеличению потерь массы порошков при возрастании длительности их кипячения, причем наибольшее возрастание потерь массы было характерно для стекла, не содержащего добавку серебра, наименьшее – для стекла с добавкой 8 мол.% Ag_2O . Переход ионов серебра из порошка стекла в водный раствор был подтвержден на примере стекла с добавкой 8 мол.% Ag_2O . Концентрация ионов серебра в водном растворе после кипячения порошка стекла данного состава, определенная методом масс-спектрологии, составила $19,42 \text{ мг/дм}^3$. Полученные в работе результаты говорят о перспективности дальнейших исследований, направленных на изучение антибактериальной активности синтезированных стекол.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования России (грант FSSM-2020-0003).

Список литературы:

1. Shakhgildyan G.Yu. et al. One-step micro-modification of optical properties in silver-doped zinc phosphate glasses // J. Non Cryst Solids. 2018. Vol. 481. P. 634-642.
2. Sharmin S. et al. Nanoparticles as antimicrobial and antiviral agents: A literature-based perspective study // Heliyon. Elsevier Ltd, 2021. Vol. 7, № 3. P. e06456.

Научный руководитель: к.х.н., доцент Г.Ю. Шахгильдян

СУЧКОВ Д.В.

Санкт-Петербургский горный университет

УТИЛИЗАЦИЯ ФОСФОГИПСА ПУТЕМ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НА РЯД ТОВАРНЫХ ПРОДУКТОВ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

SUCHKOV D.V.

Saint Petersburg Mining University

UTILIZATION OF PHOSPHOGYPSUM BY INTEGRATED PROCESSING INTO A NUMBER OF MARKETABLE PRODUCTS: PROBLEMS AND POSSIBILITIES

В современном мире одним из важных экологических вопросов является переработка крупнотоннажных промышленных отходов. В частности, для организации специальных сооружений – объектов размещения отходов (полигоны, отвалы, шламохранилища и др.) требуется отчуждение огромных территорий, которые выводят из хозяйственного оборота.

Одним из примеров промышленных процессов, в результате которых образуются крупнотоннажные отходы, является производство экстракционной фосфорной кислоты и удобрений. При экстракции фосфора из минерального сырья образуется отход фосфогипса (ФГ), основной состав которого представлен $\text{CaSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (порядка 80%), где n может принимать значения 0,5 (полугидрат) или 2 (дигидрат) в зависимости от особенностей процесса производства. Мировой выпуск ФГ в год составляет более 150 млн т, в том числе 14 млн т – в России, где в отвалах накопилось уже более 300 млн т отхода. По данным ООН, в мире перерабатывается до 4% ФГ, в России этот показатель не превышает 2%.

Исследование нацелено на решение **актуальной проблемы** полезной утилизации многотоннажных техногенных отходов минерально-сырьевого комплекса. **Целью** является разработка технического решения для эффективного использования **объекта** исследования – низкосортного сырья техногенного происхождения (фосфогипса) – в качестве вторичного материального ресурса. **Предметом** исследования является возможность использования отхода для дальнейшего создания товарной продукции, а также физико-химические закономерности, лежащие в основе процессов извлечения ценных компонентов из отхода.

Научная новизна данного исследования заключается в установлении физико-химических закономерностей, которые лежат в основе процесса карбонатной конверсии ФГ при его переработке на фосфомел. Отдельное внимание уделено вопросу мелкодисперсности получаемого фосфомела (существующие технические решения по получению фосфомела не акцентируют внимания на данной проблеме).

Практическая значимость исследования: разработаны рекомендации по комплексной утилизации отхода ФГ для получения ряда ценных продуктов: фосфомел (карбонат кальция), сульфат аммония, натрия или калия (в зависимости от условий конверсии), концентрат редкоземельных элементов. Также предлагаемое решение подразумевает возможность попутной утилизации производственных дымовых газов, содержащих углекислый газ, который используется в процессе карбонатной конверсии.

Проблема образования и утилизации техногенных отходов фосфогипса. Чаще всего ФГ складывается в гипсонакопители, что неизбежно приводит к загрязнению атмосферного воздуха, почв и водоносных горизонтов различными поллютантами, в

первую очередь, растворимыми соединениями фосфора и фтора. В частности, в условиях Северо-Западного федерального округа (СЗФО) действуют промышленные предприятия, которые являются крупными источниками образования ФГ. Также здесь находятся три крупных гипсонакопителя, в которых уже размещено более 150 млн т отхода. Из-за климатических условий региона (повышенной влажности) полностью изолировать данные объекты от окружающей среды не удаётся и требуется организация постоянного экологического мониторинга отвалов. По этим причинам становится очень актуальным вопрос утилизации данного отхода. Полезное использование ФГ позволит не только освободить часть площадей объектов размещения, но и предотвратить негативное воздействие на окружающую среду в будущем.

Анализ информации по возможным направлениям полезной утилизации ФГ демонстрирует следующие наиболее перспективные области применения отхода: в промышленности строительных материалов, в сельском хозяйстве и как источник ценных компонентов, например, редкоземельных элементов (РЗЭ).

Однако состав и свойства ФГ существенно отличаются от гипсосодержащего сырья природного происхождения. В частности, в дорожном строительстве пригоден лишь свежий ФГ, а это не решает проблему утилизации старых гипсонакопителей. Применению ФГ в сельском хозяйстве препятствуют сложности с регистрацией отхода в качестве удобрения, мелиоранта или рекультиванта. Из-за наличия в отходе ряда нежелательных примесей, в частности, оксидов тяжелых металлов, его использование в данном направлении ограничено. Варианты переработки фосфогипса для получения соединений РЗЭ исключают многостадийное обогащение техногенного сырья, однако, данная группа способов не позволит переработать основной объём отвального ФГ.

Тем не менее, использование ФГ без предварительного извлечения ценных химических веществ ведет к утрате последних. Таким образом, большинство существующих направлений не предлагают комплексного подхода к переработке потенциальных источников получения ценных компонентов, а имеющиеся технологии производства либо не пригодны для масштабирования, либо представляются экономически не рентабельными.

Описание предлагаемого технического решения. В качестве решения проблемы комплексной утилизации отхода предлагается производство карбоната кальция CaCO_3 , или фосфомела, из ФГ газожидкостным методом (насыщение суспензии ФГ углекислотой). Основные способы комплексной переработки ФГ на CaCO_3 в общем виде могут быть сведены к двум основным группам реакций: жидкостная и газожидкостная конверсии. В первом случае предполагается проведение конверсии ФГ с использованием растворов M_2CO_3 , где M^+ – ионы NH_4^+ , Na^+ или K^+ (здесь и далее). Газожидкостная конверсия – с использованием CO_2 – может быть осуществлена посредством предварительной карбонизации раствора МОН для получения M_2CO_3 или непосредственно для карбонизации суспензии ФГ

Одним из главных достоинств данной технологии является продукт гидрохимического синтеза - фосфомел (CaCO_3), который обладает высокой химической активностью. Фосфомел активно используют в металлургии (в качестве флюса, чтобы перевести тугоплавкие природные силикаты в более легкоплавкие шлаки). Также данный продукт может заменять известняк в процессе получения глинозёма, химвеществ и портландцемента. В рамках анализа потенциального рынка сбыта в условиях СЗФО установлено, что фосфомел может быть востребован Череповецким металлургическим комбинатом. При организации переработки ФГ на базе Череповецкого филиала

АО «Апатит» логистические издержки сводятся к минимуму, что повышает конкурентоспособность как продукции, так и технологии.

Предложенный способ также обладает дополнительными преимуществами, например, в условиях производственного цикла переработки ФГ он может сопровождаться утилизацией CO₂-содержащих промышленных выбросов, которые образуются в процессе производства минеральных удобрений. В зависимости от дополнительной обработки раствор после отделения осадка CaCO₃ может содержать РЗЭ, перспективные для выделения на дополнительной стадии процесса.

Результаты предварительных экспериментов. Исследования проводятся на основе лабораторной и экспериментальной базы аккредитованного Научно-образовательного центра Горного университета с использованием уникального оборудования Центра коллективного пользования и Научного центра «Проблем переработки минеральных и техногенных ресурсов», в том числе, с использованием следующего оборудования: мультиреакторная система H.E.L. (Великобритания); установка вакуумной фильтрации; лазерный анализатор размеров частиц LA-950V2 Horiba (Япония); рентгеновский порошковый дифрактометр XRD-7000 Shimadzu (Япония); растровый электронный микроскоп JSM-7001F (Япония).

Предварительные эксперименты по получению фосфомела проводились с использованием раствора карбоната натрия (Na₂CO₃) концентрацией 240 мг/дм³. Соблюдались следующие условия: Ж:Т = 3:1, температура раствора 60°C, продолжительность конверсии 30 мин. В результате рентгенофазового анализа полученного осадка подтверждено, что конверсия проведена успешно – осадок представлен соединением CaCO₃. Исследование осадка путем лазерной дифракции продемонстрировало, что 90% осадка составляют частицы размером не более 7 мкм, 50% – размером не менее 2,5 мкм. Средний размер частиц – 4,6 мкм. Фильтруемость пульпы осадка составила 1,5 м³/м²*час, что характеризует ее как труднофильтруемую.

Проблема мелкодисперсности фосфомела. Поскольку крупность большинства частиц фосфомела, который образуется в результате процесса пересадения, составляет 2-7 мкм, современная промышленность заинтересована в подобном продукте. Его использование поможет сократить количество стадий подготовки сырья. Однако по этим же причинам применимость фосфомела в настоящее время ограничена, так как мелкая дисперсность приводит к значительному ухудшению фильтрующих свойств: затрудняется отделение продукта от раствора, повышается износ оборудования, которому требуется более частое обслуживание. Поэтому в рамках дальнейших исследований отдельное внимание должно быть уделено задаче получения продукции с заданными свойствами, а именно – регулированию крупности частиц пульпы мелкодисперсного фосфомела.

Заключение. На основании выполненного литературно-патентного анализа в качестве наиболее перспективного направления, позволяющего достичь комплексной переработки отхода, выбран способ гидрохимической переработки ФГ на фосфомел. Поэтому разработка предложенной темы научного исследования может считаться перспективной и актуальной для минерально-сырьевого комплекса. Последующие исследования будут направлены на подбор таких параметров реакции, которые позволят регулировать дисперсность частиц фосфомела в сторону увеличения без потерь эффективности утилизации фосфогипса. Внедрение данных технических решений приведет к более рациональному использованию минерально-сырьевой базы страны и повышению эффективности ее воспроизводства, а также снижению уровня загрязнения окружающей среды.

Научный руководитель: д.т.н., доцент Т.Е. Литвинова

**УГЛЕРОДНЫЕ НАНОГОРНИ КАК НОВЫЙ СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКТОР
ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ОГНЕСТОЙКОЙ ХЛОПЧАТОБУМАЖНОЙ
ТКАНИ - ТЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ**

XU JIE

China University of Mining and Technology

**CARBON NANOHORNS AS NOVEL SYNERGIST TO ACHIEVE EFFICIENT
FLAME-RETARDANT COTTON FABRIC -A CASE STUDY**

The use of carbon materials has a long history. Many types of carbon materials have been produced, from cheap graphite to expensive diamond, as well as carbon black, which is commonly used in the rubber industry. The development history of carbon nano-scale materials (CNM) is relatively short, but they have exhibited excellent properties to attract the research community. Whenever a new nanocarbon material is found, it introduces revolutionary changes to the field of materials science and technology. Carbon nanohorns (CNHs) have recently emerged within the wide CNM family as a 0D carbon nanoallotrope¹, which are cost-effectively produced by arc plasma of pure graphite with excellent purity in the absence of metal catalyst^{2,3}. They assemble to form dahlia-like aggregates with a diameter around 100 nm, ensuring extremely large surface area and porosity, fast mass transport, and availability for surface bio-functionalization to facilitate their applications^{4,5}. Besides the aforementioned benefits, their exploitation as flame-retardant synergist is nowadays an unexplored field. Flame retardants (FRs) play an important role in fire prevention and are applied to consumer products such as textiles (clothing, draperies, furniture upholstery) and electronics⁶. A variety of flame retardants has been proposed and used over the years. Meanwhile, carbonaceous nanomaterials such as carbon nanotubes and graphene have also been investigated in coatings. Therefore, considering the extensive application of carbon nanotubes in flame retardant over the past few decades, CNHs could be a promising material for the construction of flame retardant.

Herein, in this work, we proposed a novel fireproof cotton fabric through compounding carbon nanohorns in ammonium polyphosphate solution. The incorporation of CNHs could synergistically improve FR properties to the cotton fabric.

The cone calorimeter (CONE) and TG technique were used to study the effect of CNHs on the combustion heat release, combustion properties of cotton fabric, and to understand the synergistic mechanism of CNHs during thermal degradation. The study showed that the addition of 0.15wt% CNHs further reduced the heat release rate (HRR) and total smoke production (TSP) (Fig. 1); To analyze the flame retardancy of Cotton, Cotton-APP, Cotton-SWCNHs, and Cotton-APP/SWCNHs (0.15), the vertical flammability and LOI tests were conducted. As presented in Fig. 2(a, b), Cotton suggested high flammability with a LOI of $17.5 \pm 0.5\%$, and the after-flame time and after-grow time of cotton fabric were 14 s and 17 s, respectively. Additionally, there was almost no residue observed after burning. In contrast, the flame retardancy of Cotton-APP and Cotton-APP/SWCNHs (0.15) were distinctly improved with both of them reaching UL94 V-0 level and self-extinguishing. Besides, their damage length dropped to 84 mm for Cotton-APP and 65 mm for Cotton-APP/SWCNHs (0.15) from 300 mm for Cotton, maintaining their original form except for

partial carbonization. Moreover, the LOI values of Cotton-APP and Cotton-APP/SWCNHs (0.15) increased to $25 \pm 0.7\%$ and $27.5 \pm 0.2\%$, respectively, increment by 1.6 times. The results demonstrated that the addition of CNHs could enhance the flame retardancy of cotton fabric.

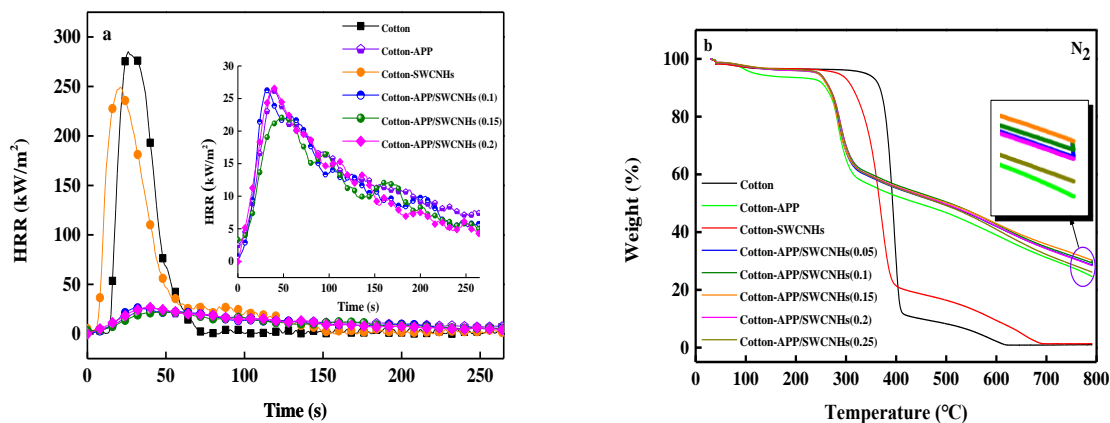


Figure 1. HRR (a) and TG (b) curves of Cotton, Cotton-APP, Cotton-SWCNHs, and Cotton-APP/SWCNHs (0.1-0.2)

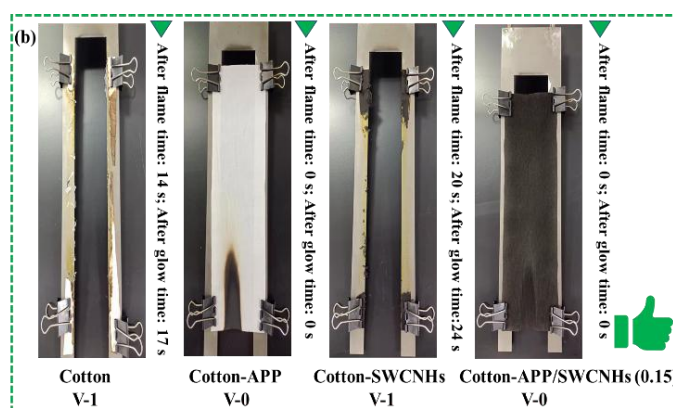
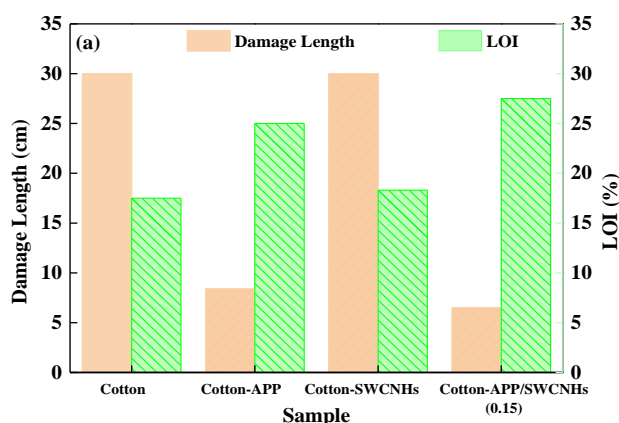


Figure 2. Flammability behavior and durability of Cotton, Cotton-APP, Cotton-SWCNHs, and Cotton-APP/SWCNHs (0.15). LOI values and damage length in the vertical burning test (a); Data of vertical burning test (b)

As presented in Table 1, the flame retardant effect of CNHs on cotton fabric is mainly a barrier effect on heat transfer. In its combustion process, a network-like carbon layer structure is formed, which exerts a barrier effect. The oxidation resistance of the carbon layer formed in the later stage of combustion is enhanced, the flame is extinguished in advance, and the further decomposition of cotton fabric is prevented, thereby reducing the content of combustible volatile components.

Table 1. Quantitative assessment of the flame-retardant modes for treated cotton fabrics

Sample	Physical barrier (%)	Flame inhibition (%)	Catalytic charring (%)
Cotton-APP	80.48	68.09	30.84
Cotton-SWCNHs	23.06	-4.38	1.26
Cotton-APP/SWCNHs(0.1)	79.34	73.63	28.95
Cotton-APP/SWCNHs(0.15)	81.27	75.85	28.74
Cotton-APP/SWCNHs(0.2)	78.54	73.46	26.42

List of references:

1. Montes, R.; Baeza, M.; Muñoz, J. 0D Polymer Nanocomposite Carbon-Paste Electrodes Using Carbon Nanohorns: Percolating Networks, Electrochemical Achievements and Filler Comparison. *Composites Science and Technology* 2020, 197, 108260. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2020.108260>.
2. Liu, X.; Ying, Y.; Ping, J. Structure, Synthesis, and Sensing Applications of Single-Walled Carbon Nanohorns. *Biosensors and Bioelectronics* 2020, 167, 112495. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2020.112495>.
3. Karousis, N.; Suarez-Martinez, I.; Ewels, C. P.; Tagmatarchis, N. Structure, Properties, Functionalization, and Applications of Carbon Nanohorns. *Chem. Rev.* 2016, 116 (8), 4850–4883. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00611>.
4. Bera, R.; Karan, S. K.; Das, A. K.; Paria, S.; Khatua, B. B. Single Wall Carbon Nanohorn (SWCNH)/Graphene Nanoplate/Poly(Methyl Methacrylate) Nanocomposites: A Promising Material for Electromagnetic Interference Shielding Applications. *RSC Adv.* 2015, 5 (86), 70482–70493. <https://doi.org/10.1039/C5RA07718D>.
5. Zhu, S.; Xu, G. Single-Walled Carbon Nanohorns and Their Applications. *Nanoscale* 2010, 2 (12), 2538. <https://doi.org/10.1039/c0nr00387e>.
6. Nosaka, T.; Lankone, R.; Westerhoff, P.; Herckes, P. Flame Retardant Performance of Carbonaceous Nanomaterials on Polyester Fabric. *Polymer Testing* 2020, 86, 106497. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106497>.

Supervisor of studies: Professor Jianjun Wu

ТАДЖИК АРАШ, ВАХИН А.В.
Казанский (Приволжский) федеральный университет
СЛАВКИНА О.В.
ООО «РИТЭК»

**ОБЛАГОРАЖИВАНИЕ СОСТАВА ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ ПРИ
ВОЗДЕЙСТВИИ СВЧ ПОЛЯ 2,45 ГГц В ПРИСУТСТВИИ НАНОРАЗМЕРНОГО
МАГНЕТИТА**

TAJIK ARASH, VAKHIN A.V.
Kazan Federal University
SLAVKINA O.V.
OJSC RITEK

**MICROWAVE-ASSISTED (2.45 GHz) HEAVY OIL UPGRADING IN THE
PRESENCE OF MAGNETITE NANOPARTICLES**

Как показывает мировой опыт, широкие возможности повышения энергоэффективности тепловых методов добычи высоковязких нефтей открывает применение принципиально нового класса реагентов - внутрипластовых катализаторов акватермолиза [1]. Эффективность таких реагентов показана в значительном объеме публикаций и доказана результатами промысловых экспериментов [2]. Катализаторы акватермолиза позволяют осуществить химическую конверсию углеводородного сырья непосредственно в пласте на стадии нефтедобычи. Обеспечивается повышение КИН и снижение обводненности продукции скважины. Эффективность внутрипластовых катализаторов акватермолиза может быть значительно повышена при воздействии на пласт СВЧ излучением [3]. Частицы катализатора, распределенные в пласте, обеспечивают увеличение охвата залежи СВЧ воздействием. В совокупности функционирование катализаторов и воздействие СВЧ-излучения обеспечивают глубокую конверсию смол и асфальтенов, снижение вязкости добываемой нефти и повышение КИН. В продолжение развития тематики внутрипластового катализа и дальнейшего повышения эффективности применения катализаторов акватермолиза проведены эксперименты по воздействию СВЧ поля на образец высоковязкой нефти без и в присутствии распределенных в ее объеме наноразмерных частиц магнетита. Эксперименты проведены при частоте 2,45 ГГц в диапазоне выходной мощности генератора в непрерывном режиме 700-800 Вт при общей мощности потребления установки не более 1500 Вт.

Использование наноразмерного магнетита позволяет не только рациональнее использовать СВЧ-излучение за счёт его поглощения и выделения тепловой энергии. Магнетит обладает каталитической способностью для процессов разрыва связей углерод-гетероатом в составе смол и асфальтенов. Общее снижение содержания асфальтенов или смол не всегда адекватно описывает очень важные изменения в составе асфальтенов. Даже незначительная доля разрыва связей углерод-гетероатом может привести к повышению подвижности асфальтенов. Важным свидетельством трансформации асфальтенов является образование низкомолекулярных ароматических соединений - алкилбензолы, нафталины и фенантрены, которые фиксируются в составе ароматической фракции. Именно такие соединения могут быть фрагментами деструктированных асфальтенов. Деструкция асфальтенов имеет решающее значение для повышения подвижности нефти в породах-коллекторе при тепловом воздействии на пласт.

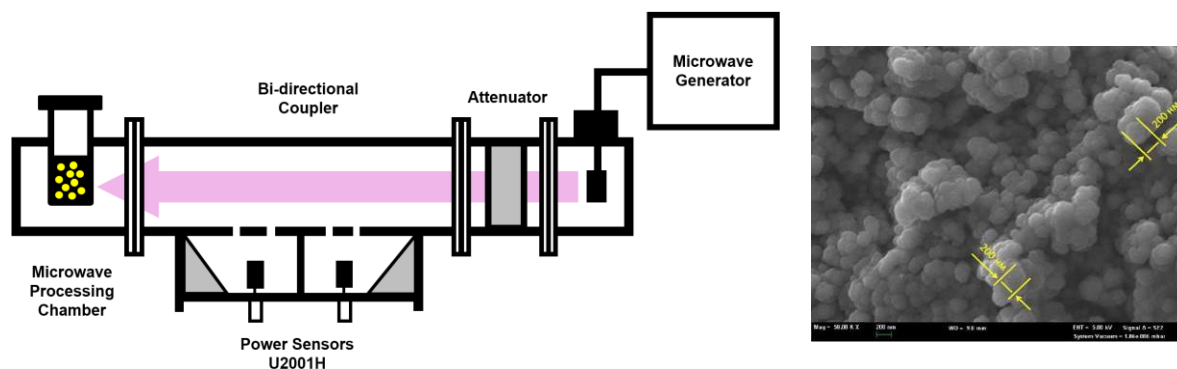


Рисунок 1. Лабораторный стенд (слева). СЭМ-изображение частиц магнетита (справа)

Для исходной нефти и после экспериментов по СВЧ воздействию определен групповой анализ. СВЧ-воздействие в отсутствие катализатора не приводит к значительным изменениям в групповом составе нефти. В присутствии магнетита содержание асфальтенов снижается на 20%. Изменения в содержании смол более заметны. Относительно СВЧ обработки без катализатора содержание смол с 30,7 мас.% снижается до 19,4 мас.%. Обработка в максимуме магнитного поля также приводит к изменениям в групповом составе нефти, но в меньшей степени. Содержание асфальтенов не изменяется. Содержание смол снизилось с 30,7 мас.% до 25,5 мас.%.

Хроматограмма образца после воздействия СВЧ-поля в максимуме электрического поля в присутствии частиц магнетита отличается от хроматограммы образца без катализатора - увеличивается относительное содержание фитана, а содержание алканов с длиной цепи C22-C32 незначительно снижается. Хроматограмма образца, подвергнутого воздействию в максимуме магнитного поля с магнетитом, незначительно отличается от контрольного эксперимента в максимуме электрического поля. В этом случае наблюдается небольшое увеличение относительного содержания алканов с длиной цепи C12-C20 и снижение алканов C22-C29, содержание алканов C30-C32 увеличивается. Однако при комбинации микроволнового воздействия и каталитического воздействия магнетита происходит незначительное снижение алканов состава C21 и выше, при этом относительное содержание алканов C12-C20 возрастает.

Т.о. комбинация СВЧ воздействия и катализаторов деструктивного гидрирования может обеспечить облагораживание состава высоковязкой нефти за счет деструкции смол и асфальтенов. Применение СВЧ воздействия на стадии добычи может обеспечить повышение нефтеотдачи.

Список литературы:

1. Tirado, A., Yuan, C., Varfolomeev, M.A., Ancheyta, J. Kinetic modeling of aquathermolysis for upgrading of heavy oils // *Fuel*, 2022, 310, 122286.
2. Vakhin A.V. et al. Extra-heavy oil aquathermolysis using nickel-based catalyst: Some aspects of in-situ transformation of catalyst precursor // *Catalysts*. 2021. Vol. 11, № 2.
3. Vakhin, A. V.; Khelkhal, M.A.; Tajik, A.; Gafurov, M.R.; Morozov, O.G.; Nasybullin, A.R.; Karandashov, S.A.; Ponomarev, A.A.; Krapivnitskaia, T.O.; Glyavin, M.Y. The Role of Nanodispersed Catalysts in Microwave Application during the Development of Unconventional Hydrocarbon Reserves: A Review of Potential Applications. *Processes* 2021, 9, 420.

Научный руководитель: к.т.н., доцент А.В. Вахин

ТАМБОВЦЕВА Т.А., КОСАЧ А.В.
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

**МЕТОД ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ
КОМПОНЕНТОВ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПОВЕДЕНИЯ
СМЕСИ НЕФТЕЙ НА ТВЕРДОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

TAMBOVTSEVA T.A., KOSACH A.V.
Gubkin Russian State University of Oil and Gas

**METHOD OF HIGH MOLECULAR COMPONENTS FRACTIONATION AND ITS
USING FOR THE DIAGNOSIS OF NONLINEAR BEHAVIOIR MIXING OILS AT
SOLID SURFACE**

В работе предлагается методика фракционирования высокомолекулярных компонентов (ВМК) нефтей на базе тонкослойной хроматографии (ТСХ) с последующей оцифровкой результатов эксперимента. Идея создания такой методики возникла в связи с неопределенностью понятия групповой состав нефти в отношении ее ВМК.

Действительно, из фигурирующих в групповом составе нефти четырех аналитических групп соединений: парафино-нафтеновые и ароматические углеводороды, смолы и асфальтены последние две группы относят к ВМК, граница между которыми весьма размыта и основана на различной растворимости в органических растворителях. Ещё Хотиером была составлена шкала осадителей и растворителей асфальтенов [1], позволяющая сделать вывод о том, что при применении различных осадителей соотношение ВМК также различно. Относительно недавно был предложен сложный в экспериментальном исполнении метод, названный расширенным методом группового анализа, позволившим выделить подфракции поверхностно-активных компонентов во фракции исходных асфальтенов [2].

Актуальность исследования заключается в том, что знание соотношения различающихся по межфазной активности ВМК нефти позволит прогнозировать поведение нефти в процессах, связанных с преимущественной адсорбцией более межфазноактивных компонентов нефти на соответствующих границах раздела фаз. Подобные процессы реализуются при смешении нефтей, формировании нефтяных эмульсий, при взаимодействии нефти с различными твердыми поверхностями и т.д. Таким образом возникла необходимость разработки доступной количественной методики и апробации нового подхода к количественной оценке ВМК путем их фракционирования из исходной нефти без предварительной стадии выделения асфальтенов в отдельную аналитическую фракцию. Такой подход предполагает разделение ВМК на инактивную и межфазноактивную части на хроматографической пластине за счет различий их химического состава.

Цель исследования – апробация исследовательской методики характеристики профиля распределения ВМК из раствора исходной нефти с применением метода тонкослойной хроматографии (ТСХ) *in situ* с представлением количественных результатов в цифровом виде.

Объектами исследований стали три образца нефти (№1, 2, 7) с различным содержанием ВМК и 17 элюентов.

Результаты хроматографирования ВМК нефти на ТСХ-силикагелевых пластинах были представлены тремя качественными методами визуализации: в видимой области, облучение ультрафиолетовым светом (длины волн $\lambda = 360-380$ нм) и обработка смесью серной кислоты с формалином [3] в соотношении 98:2 (об.) с последующей визуализацией. В зависимости от цвета и интенсивности пятен можно судить о различном распределении компонентов нефти по длине хроматографической пластины.

Критериями отбора элюентов для проведения исследований было минимальное пятно на линии старта и максимально четкая очерченность окрашенной зоны, что предположительно дает основания считать такую визуальную оценку как признак наиболее полного фракционирования ВМК. Из 17 известных растворителей наиболее полное фракционирование ВМК было получено при использовании диэтиламина (ДЭА) (рисунок 1).

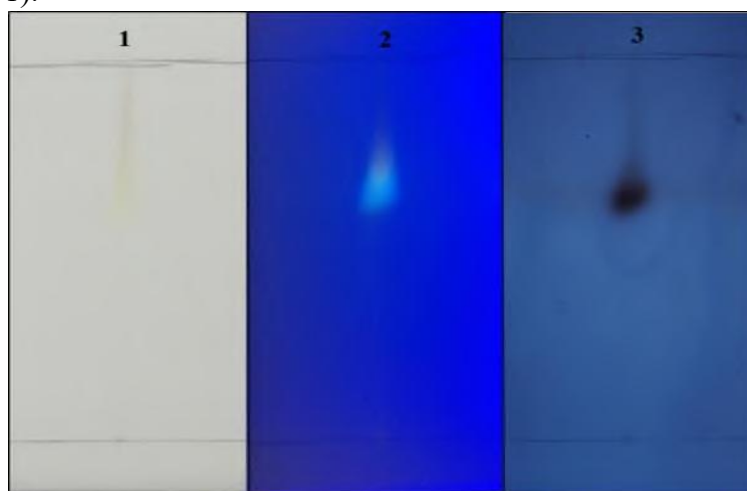


Рисунок 1. Нефть №1, диэтиламин (1 - видимый свет, 2 – УФ, 3 – серная кислота + формалин)

Для количественной характеристики профиля распределения ВМК нефти была проведена оцифровка полученных ТСХ-хроматограмм (рисунок 2). Каждый опыт был проведен не менее трех раз. Ошибка измерений по оси X и Y составила соответственно 1 и 8 отн. %.

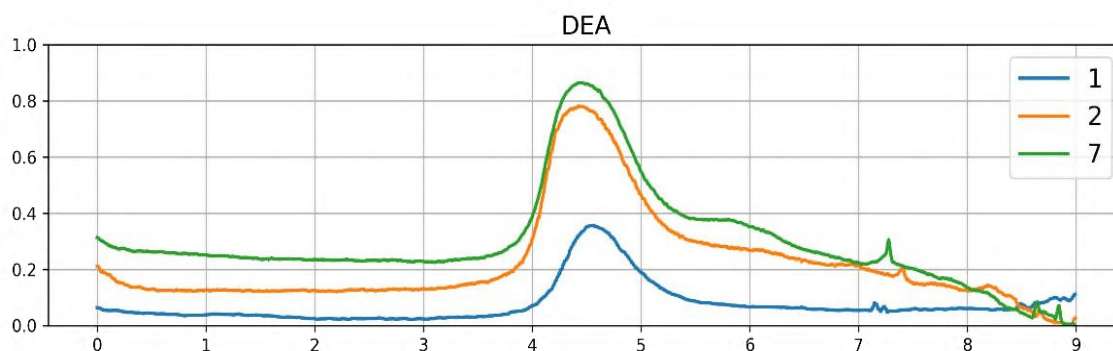


Рисунок 2. Спектр профиля распределения ВМК нефтей №1, 2, 7

Таблица 2. Результаты цифровой обработки хроматограмм

№ п/п	Нефть	Координата пика по X, см	Координата пика по Y	Площадь под кривой	Суммарное содержание САВ, %
1	№1	4,54	0,34	70,41	15,4
2	№2	4,42	0,78	283,32	23,9
3	№7	4,46	0,86	379,81	26,4

Сравнивая полученные результаты, заметим, что профили (координаты пика) нефтей различны, что говорит о различном составе и распределении ВМК по длине пластины. Нефть №7 содержит в своем составе больше ВМК, о чем говорит наибольшее значение площади под кривой. В первом приближении можно считать, что наблюдается корреляция между интегральной характеристикой распределенных ВМК нефти по ТСХ- пластине с общим количеством ВМК (смола и асфальтенов), определенных традиционным методом группового анализа. Получены не противоречивые данные.

Продолжением работы стало исследование профиля смеси нефтей №1 и №2 (в массовом соотношении 1:1), результаты представлены на рисунке 3.

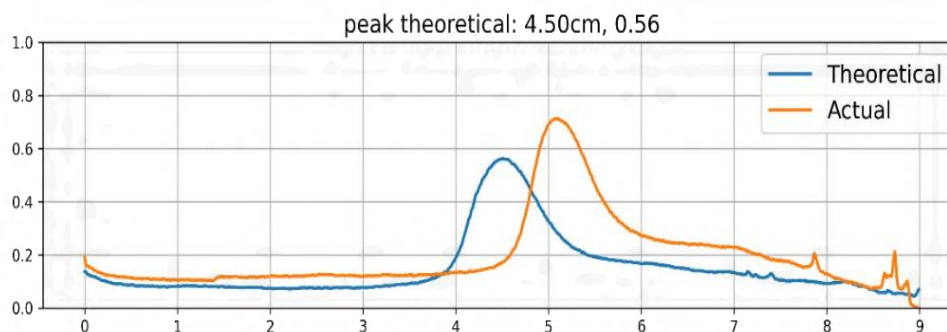


Рисунок 3. Спектр профиля распределения ВМК смеси нефтей №1 и №2

Заметим, что теоретический спектр, составленный по имеющимся данным отдельно нефтей №1 и №2, значительно отличается от практического спектра, непосредственно полученного путем смешения двух нефтей. Данное замечание подтверждает отсутствие аддитивности свойств исследованных нефтей при их смешении.

В результате исследования апробирован доступный метод фракционирования ВМК нефтей методом ТСХ с последующей цифровизацией хроматограмм, который может помочь в ранней диагностике процессов, связанных с нелинейным поведением нефтей при смешении и последующей конкурентной адсорбции межфазноактивных ВМК исходных нефтей на твердой терригенной поверхности. В практическом плане развиваемый метод может составить основу методики оценки эффективности растворителей, применяемых для отмыва терригенных коллекторов от смола-асфальтеновых веществ [4], что и является целью дальнейших исследований.

Вклад авторов: проведение экспериментов и обработка данных, Тамбовцева Т.А. и Косач А.В.; руководство, Сафиева Р.З., написание – исходная рукопись, Тамбовцева Т. А. и Косач А.В.; написание – правки и корректура, Сафиева Р.З.

Список литературы:

1. Hotier G., Robin M. Effects of different diluents on heavy oil products: measurement, interpretation, and a forecast of asphaltene flocculation //Revue de l'IFP. – 1983. – Т. 38. – С. 101.
2. Qiao P. et al. Fractionation of asphaltenes in understanding their role in petroleum emulsion stability and fouling //Energy & Fuels. – 2017. – Т. 31. – №. 4. – С. 3330-3337.
3. Dunn K. et al. Analysis of asphalt and its components by thin-layer chromatography //Developments in petroleum science. – Elsevier, 2000. – Т. 40. – С. 305-317.
4. Nikolaev V. F. et al. Method for laboratory testing of solvents for enhanced oil recovery based on dispersiometry and thin layer chromatography //Fuel. – 2019. – Т. 235. – С. 433-436.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Р.З. Сафиева

ТАН ВЭНЬ, ЦАО ЦЗИН-ПЭЙ

Китайский университет горного дела и технологий

ВЫСОКОСТАБИЛЬНЫЙ СО/С ДЛЯ КАТАЛИТИЧЕСКОГО ПАРОВОГО РИФОРМИНГА МОДЕЛЬНОЙ СМОЛЫ ИЗ ОТХОДОВ БИОМАССЫ

TANG WEN, CAO JING-PEI

China University of Science and Technology

HIGHLY STABLE CO/C FOR CATALYTIC STEAM REFORMING OF WASTE BIOMASS MODEL TAR

Tar removal is the key to realize the industrialization of biomass pyrolysis/gasification to produce hydrogen. Catalytic steam reforming of tar, one of efficient and economic technology which can utilize tar into hydrogen-rich gas, need urgently to develop highly active and stable catalyst via facile preparation method. Ni-based catalysts are attracting for steam reforming due to its acceptable activity and low cost. However, they generally undergo serious deactivation because of metal sintering and/or coke deposition. Therefore, recent progresses mainly focus on the modification of Ni-based catalysts, aiming to improve the dispersion of metallic Ni and decrease the rate of deactivation. Choosing a kind of support with a large specific surface area (SSA) is an effective method that can improve the dispersion of Ni. Activated carbon, well-known with its large SSA, usually used as the catalyst support to provide metallic Ni an enough loading space, thus contributing to disperse Ni particle. The particle size of Ni decreases with increasing SSA of activated carbon, leading to the improvement of toluene conversion during steam reforming reaction. Another method is optimizing traditional catalyst preparation, generally speaking, embedding Ni into structure of support to enhance the interaction between active Ni site and support. At the same time, the dispersion of Ni is also increased. For instance, lignite, rich in oxygen-containing function groups such as carboxyl and hydroxyl groups, is capable to exchange with Ni²⁺, becoming a good carbon precursor and support for metallic Ni. As reported, Ni/lignite exhibited the highest dispersion of metallic Ni with the minimum average particle size of 1.8 nm. Under catalytic temperature of 650 °C, the toluene conversion (82.1%) remained at least 10 h.

However, a big challenge under such a temperature, is the drastic reaction between steam and support, causing structure damage of catalyst. When the temperature was decreased to below 500 °C, the metallic Ni is not active enough to converse toluene despite the weak steam-carbon reaction. To solve this problem, we previously prepared highly dispersed Co/lignite catalyst, and found that the catalyst steadily catalyzed 85% toluene conversion under the catalytic temperature of 450 °C for at least 30 h. The interaction between Co and lignite is stronger than Ni, meanwhile the oxygen affinity of Co can enhance the coke-resistance ability of catalyst, therefore prolonging the lifetime. However, from an industrial perspective, it is necessary to further investigate and increase the stability of Co/lignite.

This work aims at investigating the activity and stability of Co/C catalyst via a series of catalytic experiments. At first, we prepared various catalysts via ion exchange method which using different cobalt precursor ($\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, and $\text{Co}(\text{CH}_3\text{COOH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), meanwhile the lignite as a carbon precursor. A number of advance characterization was adopted to analyze the structure of catalysts. Then catalyst ability tests was carried out using toluene as model tar based on different reaction condition (for example, catalytic temperature and space velocity). The intrinsic activation energy is also calculated to compare the intrinsic catalyst activity. After that, 100 h stability test was performed utilizing the most active catalyst under the same condition. Finally, the spent catalyst is characterized mainly to observe the distribution of Co on the lignite char support.

The characterization results show that the Co/C catalysts all has good pore structure, and the main differences among those samples are Co loading and dispersion. The catalyst prepared with 0.1 M $\text{Co}(\text{CH}_3\text{COOH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ($\text{Co}_{0.1}\text{-C}_2\text{H}_4\text{O}_2$) possesses 13.1 wt.% of Co and the dispersion of 22.9%, further exhibited best catalytic activity at 400 °C giving the toluene conversion of 66.8%. The calculated E_a is the minimum which can may explain the activity distinction. Then the activity of $\text{Co}_{0.1}\text{-C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ was tested under various space velocity aiming to improve catalytic performance, and the results show the best space velocity is $2400 \text{ mL} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ with toluene conversion of 88.2%. After that, we prepared different $\text{Co-C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ with different solution concentration (0.05, 0.1, 0.15 and 0.2 M). The $\text{Co}_{0.2}\text{-C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ possess 17.3 wt.% of Co with particle size of 5.6 nm, giving the highest toluene conversion of 98.7%. Stability test was performed over the most active catalyst ($\text{Co}_{0.2}\text{-C}_2\text{H}_4\text{O}_2$), while under an extreme conditions (400 °C, S/C = 0.68) to decrease the toluene conversion. The results indicate that the activity of $\text{Co}_{0.2}\text{-C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ prolongs at least 100 h, exhibiting a good stability. Finally, TEM analysis of spent $\text{Co}_{0.2}\text{-C}_2\text{H}_5\text{O}_2$ shows that the distribution and particle size are much the same as the fresh one, which is may an important reason for the good stability.

Above all, $\text{Co}_{0.2}\text{-C}_2\text{H}_5\text{O}_2$ is an promising catalyst for tar removal, which can efficiently solve the low activity and stability of catalysts under low temperature and the consumption of char support in the presence of steam. For this work, Wen Tang was mainly responsible for conducting experiments and writing paper, while Jing-pei Cao provided sources and reviewed the article.

List of references:

1. GAO N B, KAMRAN K, QUAN C, WILLIAMS P T. Thermochemical conversion of sewage sludge: A critical review[J]. Prog Energ Combust, 2020, 79, 100843.
2. GUO F Q, JIA X P, LIANG S, ZHOU N, CHEN P, RUAN R. Development of biochar-based nanocatalysts for tar cracking/reforming during biomass pyrolysis and gasification[J]. Bioresour Technol, 2020, 298, 122263.
3. REN J, LIU Y L, ZHAO X Y, CAO J P. Biomass thermochemical conversion: A review on tar elimination from biomass catalytic gasification[J]. J Energy Inst, 2020, 93(3), 1083-1098.

4. REN J, CAO J P, ZHAO X Y, YANG F L, WEI X Y. Recent advances in syngas production from biomass catalytic gasification: A critical review on reactors, catalysts, catalytic mechanisms and mathematical models[J]. *Renew Sust Energ Rev*, 2019, 116, 109426.
5. REN J, CAO J P, ZHAO X Y, LIU Y L. Recent progress and perspectives of catalyst design and downstream integration in biomass tar reforming[J]. *Chem. Eng. J.*, 2022, 429, 132316.
6. GAO N B, SALISU J, QUAN C, WILLIAMS P. Modified nickel-based catalysts for improved steam reforming of biomass tar: A critical review[J]. *Renew Sust Energ Rev*, 2021,145, 111023.
7. SHEN Y F, YOSHIKAWA K. Recent progresses in catalytic tar elimination during biomass gasification or pyrolysis—A review[J]. *Renew Sust Energ Rev*, 2013, 21, 371-392.
8. GUAN G Q, KAEWPANHA M, HAO X G, ABUDULA A. Catalytic steam reforming of biomass tar: Prospects and challenges[J]. *Renew Sust Energ Rev*, 2016, 58, 450-461.
9. LEE J, KIM K H, KWON E E. Biochar as a Catalyst[J]. *Renew Sust Energ Rev*, 2017, 77, 70-79.
10. REN J, CAO J P, ZHAO X Y, LIU Y L. Fundamentals and applications of char in biomass tar reforming[J]. *Fuel Process Technol*, 2021, 216, 106782.
11. REN X Y, FENG X B, CAO J P, TANG W, WANG Z H, YANG Z, ZHAO J P, ZHANG L Y, WANG Y J, ZHAO X Y. Catalytic conversion of coal and biomass volatiles: a review[J]. *Energ Fuel*, 2020, 34(9), 10307-10363.
12. TANG W, CAO J P, YANG F L, FENG X B, REN J, WANG J X, ZHAO X Y, ZHAO M, CUI X, WEI X Y. Highly active and stable HF acid modified HZSM-5 supported Ni catalysts for steam reforming of toluene and biomass pyrolysis tar[J].*Energ Convers Manage*, 2020, 212, 112799.
13. TANG W, CAO J P, WANG Z H, HE Z M, LIU T L, WANG Z Y, YANG F L, REN J, ZHAO X Y, FENG X B, BAI H C. Comparative evaluation of tar steam reforming over graphitic carbon supported Ni and Co catalysts at low temperature[J]. *Energ Convers Manage*, 2021, 244, 114454.
14. YANG F L, CAO J P, ZHAO X Y, REN J, TANG W, HUANG X, FENG X B, ZHAO M, CUI X, WEI X Y. Acid washed lignite char supported bimetallic Ni-Co catalyst for low temperature catalytic reforming of corncob derived volatiles[J]. *Energ Convers Manage*, 2019, 196, 1257-1266.
15. GUO F Q, PENG K Y, LIANG S, JIA X P, JIANG X C, QIAN L. Evaluation of the catalytic performance of different activated biochar catalysts for removal of tar from biomass pyrolysis[J]. *Fuel*, 2019, 258, 116204.
16. LU G H, BAI Y H, REN L, WANG J F, SONG X D, YU G S. Role of phosphorus (P) additive in the performance of char-supported nickel (Ni) catalyst on tar reforming[J]. *Energ Convers Manage*, 2020, 225, 113471.
17. REN J, CAO J P, ZHAO X Y, WEI F, LIU T L, FAN X, ZHAO Y P, WEI X Y. Preparation of high-dispersion Ni/C catalyst using modified lignite as carbon precursor for catalytic reforming of biomass volatiles[J]. *Fuel*, 2017, 202, 345-351.

Supervisor of studies: Dr, professor Jing-Pei Cao

ТОРОПЧИНА М.А.
Санкт-Петербургский горный университет

ПРИМЕНЕНИЕ САПОНИТОВОЙ ГЛИНЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БУРОВОГО РАСТВОРА

TOROPCHINA M.A.
Saint Petersburg Mining University

APPLICATION OF SAPONITE CLAY FOR OBTAINING DRILLING FLUID

В настоящем исследовании рассмотрены альтернативные подходы к изысканию сырьевых источников для создания новых составов буровых промывочных жидкостей.

Необходимость разработки новых составов буровых промывочных жидкостей обусловлена изменением географии и геолого-технических условий бурения скважин по мере развития технологий нефтегазовой отрасли. Как правило, структурообразующим агентом выступает бентонитовый глинопорошок. Бентонитовая глина представлена группой минералов, содержащих 60-70% монтмориллонита – минерала, обладающего слоистой кристаллической структурой, ярко выраженной способностью к обмену катионов и гидрофильностью [2]. В данном исследовании сапонитовая глина использована в рецептуре технического раствора в качестве структурообразующего агента. Сапонит, составляющий основу рассматриваемого сырья, относится к глинистым минералам группы монтмориллонита. Особенностью сапонита является высокодисперсное состояние, обусловленное коллоидным размером частиц, которое приводит к образованию седиментационно устойчивой взвеси [4]. Известны исследования, продемонстрировавшие возможность улучшения реологических свойств водных суспензий бентонитовой глины посредством их обработки карбонатом натрия [1]. В качестве модифицирующей добавки в сапонитовую суспензию вводилась содосульфатная смесь - побочный продукт производства глинозема на предприятиях, использующих в качестве сырья бокситы с высоким содержанием серы. Химический состав представлен следующими соединениями: 70-75% сульфата натрия, 20-25% карбоната натрия, незначительные примеси оксида алюминия [5]. Применение техногенного сырья позволит не только создать новые рецептуры буровых растворов, но и снизить экологическую нагрузку на окружающую среду.

Для определения минерального состава твердой фазы суспензии был использован прибор XRD 7000, принцип работы которого основан на явлении рентгеновской дифракции. Результаты анализа показали, что свыше 50% твердых частиц представлены глинистыми минералами (каолинит, сапонит, серпентин, бейделлит). Интерпретация полученных данных проведена с помощью справочников В.Г. Фёкличева и В.И. Михеева, а также электронной базы ruff.info [3, 7-8]. Химический состав силикат-глыбы содосульфатной в оксидной форме был определен с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра ShimadzuXRF-1800.

Основными реологическими свойствами, регламентируемыми для буровых растворов, являются плотность (ρ), статическое напряжение сдвига (CHC , CHC_{10}), условная вязкость (УВ). Плотность определялась с помощью рычажных весов Fann 140, статическое напряжение – с использованием ротационного вискозиметра Fann Model 35. Для определения условной вязкости был применен вискозиметр ВБР-1. К

фильтрационным свойствам относятся водоотдача (В) и толщина фильтрационной корки (К). Значения этих показателей было найдено с помощью фильтр-пресса НРНТ Fann 175СТ [10]. Прежде всего перечисленные выше показатели были определены для шести проб сапонитовой суспензии с содержанием твердых частиц 10, 21, 42, 66, 85, 100 г/л. Пробы были получены путем разбавления исходного шлама с концентрацией твердых веществ 132 г/л. В таблице 1 представлены результаты опытов, в которых исследовалась пульпа с содержанием твердых веществ 85 и 100 г/л, так как их показатели наиболее близки к требованиям, предъявляемым к буровым растворам. Стабильность суспензии при добавлении химических реагентов проверялась путем суточного отстаивания для проб с содержанием твердых частиц 50 г/л и 85 г/л, также полученных при разбавлении. Используемые реагенты: сернокислый кальций, сернокислый калий, кальция алюмосиликат, содосульфатная силикат-глыба, жидкое стекло. Результаты показали, что наиболее стабильна суспензия с большим содержанием твердых веществ при добавлении любого из реагентов. В пробах с содержанием взвешенных веществ 85 г/л объем воды, выделившийся из суспензии после суточного отстаивания, равен нулю.

Таблица 1. Результаты определения физических свойств сапонитовой пульпы

Определяемый показатель	85 г/л твёрдого в пульпе	100 г/л твёрдого в пульпе
Плотность (ρ)	1,055 г/см ³	1,060 г/см ³
СНС	5 Па	5 Па
СНС ₁₀	10 Па	10 Па
Условная вязкость (УВ)	18 с	20 с
Водоотдача (В)	24 см ³ /30 мин	22 см ³ /30 мин
Толщина фильтрационной корки (К)	1 мм	1 мм

Для повышения значения СНС был проведен опыт с использованием содосульфатной силикат-глыбы. Содержание твердых веществ в суспензии составило 85 г/л, масса добавляемого реагента варьировалась от 2 до 10 г. Опыт показал, что с увеличением массы данного реагента рассматриваемые показатели возрастают и находятся в диапазоне допустимых значений. При добавлении 10 г определяемые показатели превышают допустимые значения. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты опыта с силикат-глыбой содосульфатной

Масса силикат-глыбы содосульфатной, г	ρ , кг/м ³	УВ, с	СНС ₁ (10 с), Па	СНС ₁₀ (10 мин), Па	В, см ³ /30 мин
2	1050	18	4	7	34
5	1070	21	10	20	36
7	1070	23	15	25	36
10	1060	92	33	35	42

Результаты исследований показали возможность применения сапонитовой глины в качестве структурообразующего агента в буровой промывочной жидкости. При этом оптимальное содержание взвешенных веществ в сапонитовой суспензии находится в интервале от 85 до 100 г/л. Установлено, что для повышения вязкости сапонитовой взвеси может быть использована содосульфатная смесь, являющаяся отходом глиноземного производства. Данный реагент показал высокую эффективность применения для увеличения следующих показателей: СНС (в 15 раз), СНС10 (в 8 раз), ДНС (в 11 раз), пластической вязкости (в 2,3 раза). Однако, введение содосульфатной смеси приводит к повышению водоотдачи в 1,4 раза. Технические жидкости полученного состава могут быть использованы при бурении, если водоотдача не регламентируется.

Список литературы:

1. Boussen S., Sghaier D, Chaabani F, Jamoussi B, Messaoud S.B., Bennour A. The rheological, mineralogical and chemical characteristic of the original and the Na₂CO₃-activated Tunisian swelling clay (Aleg Formation) and their utilization as drilling mud// Applied Clay Science - 2015. - №4. – pp. 1-10.
2. Richard O. Afolabi, Oyinkepreye D. Orodu, Vincent E. Efeovbokhan Properties and application of Nigerian bentonite clay deposits for drilling mud formulation: Recent advances and future prospects// Applied Clay Science - 2017. - №143. - pp. 39-49.
3. Rruff -Integrated database of Raman spectra, X-ray diffraction and chemistry data for minerals. [Electronic source]. URL: <http://rruff.info/>.
4. Zubkova O., Alexeev A., Polyanskiy A., Karapetyan K., Kononchuk O., Reinmüller M. Complex Processing of Saponite Waste from a Diamond-Mining Enterprise// Applied Sciences – 2021. – 11, 6615. – p.17.
5. Ибрагимов Р.А., Изотов В.С., Хузиахметов Р.Х. Использование сульфатно-содовой смеси в качестве ускорителя твердения в технологии тяжелого бетона// Вестник технологического университета - 2015. - Т.18, №9. - с. 167-170.
6. Коршак А.А., Шаммазов А.М. Основы нефтегазового дела. Учебник для вузов. Уфа., 2001. 544 с.
7. Михеев В.И. Рентгенометрический определитель минералов. М., 1957. 868 с.
8. Фекличев В.Г. Диагностические константы минералов. Справочник. М., 1989. 479 с.

Научный руководитель: к.т.н., научный сотрудник О.С. Зубкова

ТУРУК А.А.

Казанский национальный исследовательский технологический университет

ОКИСЛЕННЫЕ БИТУМЫ НА БАЗЕ СЫРЬЯ АО «ТАНЕКО»

TURUK A.A

Kazan National Research Technological University

OXIDIZED BITUMEN BASED ON RAW MATERIALS OF JSC "TANECO"

В работе предлагается обзор научно-исследовательской работы по окислению битумов на базе сырья АО «Танеко» и соответствие полученных битумов ГОСТ 33133-2014.

В современном мире дороги – важнейшее средство коммуникации населения страны. В настоящее время срок службы дорожного покрытия не менее 12 лет, но на самом деле показатели, полученные на практике в настоящее время далеки от этого значения, в связи с этим необходимо либо увеличить производство битума, как сырья для асфальтобетонной смеси, либо произвести модификацию вяжущего компонента для повышения устойчивости дорожного покрытия к формированию трещин и колеи. Битум является одним из ключевых составляющих, отвечающих за качество автомобильных дорог. Именно поэтому важно производить качественный битум.

Цель исследования заключается в разработке новых методов повышения эксплуатационных свойств дорожных битумов, полученных в процессе окисления гудрона.

В рамках научно-исследовательской работы наработаны оптимальные условия получения окисленного битума. Процесс окисления проводится на лабораторной установке окисления гудрона (окисление кислородом воздуха, подача которого осуществляется через маточник).

Методика проведения процесса: подготовленный гудрон подается в реактор окисления через штуцер ввода, далее включается программируемый нагрев ректора до 200 ± 10 °С, после достижения заданной температуры начинается подача воздуха через маточник в реактор, предварительно пойдя нагрев до 200 ± 10 °С. В ходе экспериментальной части исследования были сформированы закономерности получения битумов определенной марки.

Факторы, влияющие на получение битума:

1. расход воздуха:
 - для получения битума БНД 70/100, необходима подача воздуха в реактор не меньше 8-9 л/мин;
 - для получения битума БНД 100/130, необходима подача воздуха в реактор не больше 5-6 л/мин;
2. температура протекания реакции:
 - для получения битума БНД 70/100, необходима температура реакции не меньше 210 ± 10 °С, при загрузке реактора не меньше 1.2 кг;
 - для получения битума БНД 100/130, необходима температура реакции не меньше 190 ± 10 °С, при загрузке реактора не меньше 1.2 кг;
3. время протекания реакции:

- для получения битума БНД 70/100, необходимое время протекания реакции не меньше 2-2,5 ч при загрузке реактора не меньше 1.2 кг;

- для получения битума БНД100/130, необходимое время протекания реакции не больше 1,5-2 ч при загрузке реактора не меньше 1.2 кг;

Эти факторы влияют в совокупности, нельзя рассматривать влияние одного из факторов, не учитывая остальные. Данные условия помогут в перспективе получить полимерно-модифицированные битумы, обладающими устойчивостью к старению, колееобразованию и размягчению.

Список литературы:

1. Орлов Д.В. Межотраслевая конференция «RRO БИТУМ И ПБВ», как инструмент развития отрасли [Текст] / Орлов Д.В. – 2018.
2. Емельянычева Е. А., Абдуллин А. И., Башкирцева Н. Ю., Производство нефтяных битумов / КНИТУ. 2021, с.124-7,75 (Гриф КНИТУ или другого вуза)
3. Патент 98105113/12, 1998.03.23. МАТОЧНИК ВОЗДУХА ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ КОЛОННЫ ПРОИЗВОДСТВА БИТУМОВ // Российский патент 2000 года по МПК С10С 3/04/ Сомов В.Е., Залищевский Г.Д., Алексеев О.В., Пиденко А.Н., Колесников А.В.

Научный руководитель: к.х.н., доцент Б.Р. Вагапов

УГВУ ЧИНЕДУ, МОИСЕЕВА Е.Г., ЛАХОВА А.И.

Казанский национальный исследовательский технологический университет

МОДИФИКАЦИЯ УГОЛЬНЫХ ДОБАВОК ДЛЯ ПРОЦЕССА VCC

UGVU CHINEDU, MOISEEVA E.G., LAKHOVA A.I.

Kazan national research technological university

MODIFICATION OF CARBON ADDITIVES FOR THE VCC PROCESS

На сегодняшний день разработаны и апробированы катализаторы переработки тяжелого нефтяного сырья, которые включают в себя такие металлы как, Fe, Ni, Al, Co, Cu, Ag. Главный их недостаток заключается в увеличении стоимости процесса переработки за счет использования дорогостоящих носителей, а также благородных металлов. Конверсия смолисто-асфальтеновых компонентов тяжёлых нефтей на поверхности каталитической системы, приводит к скорейшему отравлению активных центров, в результате реакций коксообразования и металлизации (адсорбция на активных центрах Ni-VO порфериновых комплексах). Для сохранения высокой степени конверсии смолисто-асфальтеновых компонентов увеличивают кратность соотношения катализатора к сырью.

В связи с уменьшением запасов исследуемой легкой нефти увеличилась доля тяжелой высоковязкой нефти в общем объеме переработки углеводородного сырья, на долю которой приходится 80% мировых запасов нефти. Обработка тяжелой нефти приводит к образованию большого количества тяжелых фракций. Сложность переработки тяжелых остаточных фракций заключается в высоком содержании в их составе смолистого асфальтенового материала. Учитывая сложную структуру агрегатов

смолистого асфальтенового материала нефти, их доступ к активному центру катализатора представляется затруднительным.

Целью данной работы является исследование влияния соотношения катионов металлов Ni/Al в пропиточном растворе на состав и параметры порового пространства углеродсодержащей каталитической системы. Анализ состава, поверхности и порового пространства и данные о площади удельной поверхности (БЭТ), объема и среднего диаметра пор (ВЖ) были получены с помощью анализатора площади поверхности и размера пор NOVA 1200e (Quantachrome Instruments).

Синтез активного угля ($S_{акт}$) проводился с помощью растворов солей $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ и $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ с соотношением равным 2:1 и 3:1. В результате получения каталитической системы Ni/Al (2:1) термообработкой в токе азота N_2 активного угля $S_{акт}$, пропитанного гидроксидами Ni и Al, соотношение оксидных фаз на его поверхности NiO/Al₂O₃ составило 3:1. Каталитическая система Ni/Al (3:1) характеризуется соотношением оксидной фазы NiO/Al₂O₃ – 7,4:1, после её термообработки в восстановительной среде данное соотношение снизилось до 6,3:1.

Результаты исследований удельной поверхности по методу БЭТ активного угля ($S_{акт}$) до и после модификации представлены в таблице 1. Из каталитических систем наименьшей удельной поверхностью обладают образцы $S_{акт}$, Ni/Al(2:1), N_2 (234,295 м²/г) и $S_{акт}$, Ni/Al(2:1), H_2 (182,323 м²/г). Каталитические системы $S_{акт}$, Ni/Al(3:1), N_2 и $S_{акт}$, Ni/Al(3:1), H_2 характеризуются высокой удельной поверхностью (314,909 и 300,069 м²/г) и малой внешней удельной поверхностью (100,105 и 96,864 м²/г). Данное явление обусловлено тем, что импрегнирование активного угля ведет к увеличению на его поверхности количества оксидных фаз NiO/Al₂O₃, которые могут прочно фиксироваться на входе и/или на стенках пор, тем самым ограничивая объем пор, доступный для адсорбции N_2 , в результате чего удельный объем микропор уменьшается на ~ 65-89 %. Максимальными параметрами удельной поверхности (807,489 м²/г) с внешней удельной поверхностью (154,638 м²/г) обладает исходный активный уголь ($S_{акт}$). Наибольшей внешней поверхностью обладает образец $S_{акт}$, Ni/Al(2:1), N_2 (168,502 м²/г). Методом ВЖ были определены значения среднего размера пор.

Таблица 1.

Характеристики пор и микропор	Образец каталитической системы				
	$S_{акт}$	$S_{акт}$, Ni/Al(2:1), N_2	$S_{акт}$, Ni/Al(2:1), H_2	$S_{акт}$, Ni/Al(3:1), N_2	$S_{акт}$, Ni/Al(3:1), H_2
S удельной поверхности по БЭТ, м ² /г	807,489	234,295	182,323	314,909	300,069
Средний диаметр пор по ВЖ, нм	3,903	6,407	7,585	3,883	3,898
Общий объем пор, см ³ /г	0,473	0,552	0,294	0,242	0,235
Площадь микропор по t-методу, м ² /г	652,850	65,793	69,290	214,804	203,205
Объем микропор по t-методу, см ³ /г	0,266	0,030	0,031	0,090	0,266
Внешняя удельная поверхность, м ² /г	154,638	168,502	113,033	100,105	96,864

В результате исследования объема пор, среднего размера пор и распределение пор по методу ВЖН образцов модифицированного угля используемого в качестве добавки для жидкофазных реакторов процесса VCC установлено что наибольшим размером пор обладают $S_{акт}, Ni/Al (2:1), N_2$ (6,407 нм) и $S_{акт}, Ni/Al (2:1), H_2$ (7,585 нм) с общей площадью пор 10-200 нм 45,73 и 28,58 м²/г. Термообработка импрегнированных NiO/Al_2O_3 активного угля приводит к снижению количества пор. Ультразвуковое воздействие приводит к увеличению более чем в 2 раза внешней поверхности частиц каталитической системы на основе активного угля.

Исследование выполнено за счет гранта: Российского научного фонда № 18-77-10023, <https://rscf.ru/project/18-77-10023/>

Список литературы:

1. Петров С.М. и др. Влияние оксидов металлов и их предшественников на состав конечных продуктов акватермолиза тяжелой Ашальчинской нефти. Процессы, 2021, 9(2):256.
2. Моисеева Е.Г и др. Конверсия тяжелой свехвязкой нефти Ашальчинского месторождения в присутствии активированного угля и сверхкритической водной флюида. Химия и технология топлив и масел, 2021, 57(5):746-752. 752.

Научный руководитель: к.т.н., доцент С.М. Петров

УМУРАКОВА К.Е.

Уфимский государственный нефтяной технический университет

КОМПАУНДИРОВАНИЕ ТОВАРНЫХ АВТОБЕНЗИНОВ С РАЦИОНАЛЬНЫМ ПОДХОДОМ К СУЩЕСТВУЮЩИМ УСТАНОВКАМ В СХЕМЕ НПЗ

UMURAKOVA K.E.

Ufa State Petroleum Technological University

COMPOUNDING OF COMMERCIAL GASOLINE WITH A RATIONAL APPROACH TO EXISTING UNITS IN THE SCHEME OF THE REFINERY

В работе рассматривается рациональный подход к технологическим потокам на нефтеперерабатывающем предприятии для получения товарных автомобильных топлив с высокими экологическими и эксплуатационными характеристиками. В частности был произведён подбор рецептур бензинов марки АИ-95 и предложены оптимальные составы с учётом набора технологических установок. Согласно проведённому исследованию, предлагается дополнительно расширить продуктовый пул нефтеперерабатывающего предприятия. Полученные бензины по своим физико-химическим и эксплуатационным характеристикам соответствуют требованиям действующих стандартов ТР ТС.

На сегодняшний день все более жесткие требования предъявляются к качеству товарных бензинов. В частности, это касается ограничений, накладываемых на содержание в них олефинов, бензола, ароматических углеводородов и сернистых

соединений. При их сгорании в выхлопах моторных двигателей в больших количествах присутствуют такие соединения, как монооксид углерода, диоксид серы, сажа и другие вредные для здоровья вещества. Кроме того, многие ароматические углеводороды (в частности, бензол и бензапирен, который образуется при сгорании топлива в двигателе внутреннего сгорания) являются высокотоксичными веществами. Современный класс бензинов К-5 стал эталонным топливом в плане экологии. Ограничения в содержании серы не более 10 ppm серьезно повлияли на уменьшение выбросов вредных веществ в атмосферу. Однако рынок диктует условия к переходу на все более экологически чистое топливо.

Это приводит к тому, что использование риформата и бензина каталитического крекинга в качестве компонентов товарного бензина должно быть ограничено. В связи с чем, представляет интерес разработка вариантов схем и концепций производства топлив экологического стандарта К-5 и оценка возможности и перспектив их реализации.

Поэтому исследования, направленные на изучение и разработку оптимального соотношения компонентов в товарном бензине, являются актуальными.

Целью данной работы является исследование и разработка рациональных способов производства высокоэффективных бензиновых композиций, удовлетворяющих современным экологическим требованиям.

В качестве основных смесевых компонентов были использованы бензины установок каталитического крекинга, риформинга, изомеризации. Для оптимального содержания ароматических углеводородов и концентрата аренов были выделены отдельные фракции бензина каталитического риформинга.

Разработаны оптимальные рецептуры смешения товарных бензинов марки АИ-95 с учетом состава вовлекаемых смесевых компонентов. Полученные бензины соответствуют требованиям ТР ТС 013/2011 [2, 3]. Показано, что использование рецептур смешения бензинов с учетом состава исходных компонентов позволяет повысить ресурсоэффективность производства, в случае сырья с низким октановым потенциалом – избежать выхода некондиционных партий продукции; в случае сырья с высоким октановым потенциалом сэкономить вовлечение компонентов с целью дальнейшей продажи в качестве отдельных продуктовых потоков – алкилат, МТБЭ, ЭТБЭ, ТАМЭ.

Список литературы:

1. Киргина, М. В. Оптимизация рецептур смешения бензинов с использованием компьютерной моделирующей системы / М.В. Киргина // *Neftegaz.RU*. – 2019. – №9 (93). – С. 71.
2. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 013/2011 «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту (с изменениями на 19 декабря 2019 года)» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru>.
3. ГОСТ 32513–2013 «Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru>.

Научный руководитель: к.т.н., доцент А.В. Ганцев

УШАКОВ К.Ю.

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОЦЕССА ОЖИЖЕНИЯ БАРЗАССКИХ УГЛЕЙ

USHAKOV K.YU.

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

INVESTIGATION OF THE REGULARITIES OF THE PROCESS OF LIQUEFACTION OF BARZAS COALS

В настоящее время для промышленных предприятий особое развитие приобретают вопросы ESG-повестки и определение углеродного следа производимой продукции. В связи с этим всё чаще на мировом топливном рынке звучат намерения об отказе от традиционного использования угольного сырья в качестве топлива на энергетических станциях. Для угледобывающего региона – Кузбасса снижение спроса на угольное сырьё как на топливный продукт, без замещения этого спроса на другие направления применения может привести к серьёзным негативным изменениям в экономике. В связи с этим возрастает актуальность развития углехимических направлений использования угольного сырья. Одной из рентабельной технологии [1,2] является прямое ожижение углей, которая до настоящего времени в России не преодолела уровня опытно-промышленных испытаний. Предлагаемая технология связана с основным направлением ожижения – получение жидких топливных и сырьевых продуктов для автотранспорта, энергетической и химической промышленности. При этом, из угольного сырья возможно получать продукты с высокой прибавочной стоимостью, цены на которые стремительно растут на мировых рынках. Целью настоящей работы является достижение максимального выхода фракций жидких компонентов на основании выявления закономерностей термических превращений низкометаморфизованных кузбасских углей и определение влияния термодинамических параметров на качественный состав получаемых жидких продуктов.

Экспериментальные исследования по изучению влияния термодинамических и режимных параметров (температура, давление, среда термообработки, присадки водорододонорного растворителя, катализаторы) на процессы ожижения угольного сырья проводились на установке с использованием реактора периодического действия (автоклава), изготовленного из нержавеющей стали, который позволял проводить эксперименты по термообработке до 600°C и давлениях – до 25 МПа. В качестве растворителя применялся типичный гидроароматический водорододонорный растворитель – тетралин (марки «ч»). В качестве модельного угольного сырья использовались фракции плитчатой модификации барзасского угля («плитки») и ее выветренной формы («рогожки») с размерами частиц 1-3 мм. Для изучения влияния каталитических добавок на процесс ожижения барзасского сапромиксита была приготовлена серия образцов плитчатого барзасского угля, модифицированных различными каталитическими добавками на основе переходных металлов: 1) 2,5 масс.% Fe₂O₃; 2) 0,5 масс.% MoO₃ и 3) 2,5 масс.% Fe₂O₃ + 0,5 масс.% MoO₃.

На первой стадии экспериментальных исследований при термических превращениях модельного угля в углекислотной и водородной средах были найдены зависимости экстремального типа от температуры и давления для выходов «угольных жидкостей». Причем максимальные значения для этих зависимостей наблюдались соответственно при $T = 475^{\circ}\text{C}$ и $P \sim 7$ МПа. При этом в ходе разложения барзасских сапромикситов в атмосфере водорода наблюдается более высокий выход «угольных жидкостей» по сравнению с аналогичным показателем термоконверсии этих углей в углекислотной среде. Поскольку известно, что угли значительно легче гидрируются и дают больший выход жидких продуктов при термообработке в водородной среде и/или в присутствии водорододонорного растворителя, были проведены экспериментальные исследования по ожижению плитчатого барзасского сапромиксита в атмосфере водорода в отсутствие и в присутствии растворителя. Полученные результаты показывают, что при практически одинаковых условиях проведения процесса, в присутствии гидроароматического растворителя более чем вдвое снижается выход газообразных продуктов и одновременно более чем вдвое увеличивается выход жидких продуктов. При этом оптимальным добавлением к угольному сырью растворителя при ожижении барзасского угля является массовое соотношение уголь/тетралин $\sim 1:4$. При более высоких отношениях уголь/тетралин заметного роста выхода жидких продуктов не наблюдается, но при этом падает производительность и эффективность использования растворителя. Обнаруженная ранее зависимость по температуре термообработки без растворителя, сохранилась и в экспериментальных исследованиях в присутствии растворителя, при этом максимальные значения выхода жидких продуктов наблюдалось при $450\text{-}475^{\circ}\text{C}$.

Для интенсификации процессов ожижения твердых топлив термообработку угольного сырья также проводят в присутствии различных каталитических добавок, которые способствуют значительному усилению реакций гидрирования и крекинга угольного сырья [3, 4]. Наиболее распространенными среди этих добавок являются соединения железа и молибдена. В настоящей работе было проведено гидрирование плитчатого барзасского сапромиксита в присутствии тетралина с каталитическими добавками соединений железа и молибдена. Обнаружено, что при добавлении катализаторов заметно снижается выход углеродного остатка, но возрастают выходы жидких и газообразных соединений, что свидетельствует об увеличении степени превращения сапромиксита в направлении образования более легких продуктов. Предварительные результаты хромато-масс-спектрометрического анализа жидких продуктов также указывают на увеличение доли более легких продуктов (алифатических углеводородов и производных бензола) в составе жидких фракций, полученных в присутствии каталитических добавок.

Важной составляющей для экономического обоснования внедрения технологий ожижения углей является качество получаемых жидких продуктов. В связи с этим в работе был произведен анализ ИКФП-спектров угольных жидкостей, выделенных из твердых продуктов термических превращений барзасских сапромикситов. Угольные жидкости характеризуются повышенным содержанием алкильных групп, а также пониженным содержанием кислородсодержащих и ароматических структур. На основании ИКФП-спектров мальтенов и асфальтенов, полученных при различных температурах термообработки барзасского угля в водородной среде, были рассчитаны отношения оптических плотностей полос поглощения алкильных групп (суммы оптических плотностей валентных колебаний

СН₂- и СН₃-групп) к интенсивностям (оптическим плотностям) полос поглощения гидроксильных групп С=О-групп и С=С-связей ароматических колец, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1. Изменения соотношений функциональных групп в мазутах и асфальтах в зависимости от температуры термообработки барзасского угля в водородной среде

Т, °С	(D _{СН₂} + D _{СН₃})/D _{С=С}		(D _{СН₂} + D _{СН₃})/D _{С=О}		(D _{СН₂} + D _{СН₃})/D _{ОН}	
	мазуты	асфальты	мазуты	асфальты	мазуты	асфальты
400	14,94	6,82	6,10	4,70	24,50	92,16
475	12,20	36,86	12,45	32,33	67,77	43,88
550	9,41	54,73	5,77	26,06	72,38	21,05

Как видно из представленных данных, с увеличением температуры термообработки наблюдается уменьшение отношения $(D_{\text{СН}_2} + D_{\text{СН}_3})/D_{\text{С=С}}$ в мазутах, но одновременное увеличение этого соотношения в асфальтах. При этом заслуживает внимания тот факт, что аналогичная закономерность имела место также и при термообработке барзасского сапромиксита в углекислотной среде. Обратная зависимость наблюдается для отношения интенсивности алкильных групп к интенсивности ОН-связей, т. е. $(D_{\text{СН}_2} + D_{\text{СН}_3})/D_{\text{ОН}}$ (табл. 1). С увеличением температуры термообработки барзасского угля в водородной среде доля алкилсодержащих структур относительно гидроксилсодержащих компонентов растет, тогда, как в асфальтах, она падает. Это может означать, что в асфальтах гидроксильные группы термически более стабильны, чем в мазутах, в которых удаление ОН-групп происходит быстрее, чем переход алкильных структур в газовую фазу. Отношение $(D_{\text{СН}_2} + D_{\text{СН}_3})/D_{\text{С=О}}$ с ростом температуры термообработки в мазутах и асфальтах проходит через максимум при $\sim 475^\circ\text{C}$, но при более высоких температурах доля алкильных групп относительно карбонильных связей в мазутах значительно ниже, чем в асфальтах; это может свидетельствовать как о большей окисляемости мазутов на воздухе, так и о более высокой термостабильности алкилсодержащих структур в асфальтах. В целом, интенсивности полос поглощения кислородсодержащих ОН- и С=О-связей в них сравнительно невелики (в особенности, для гидроксильных групп, интенсивности которых близки к нулю), что говорит о низком относительном содержании кислородсодержащих соединений в жидких продуктах, образующихся при термообработке барзасских сапромикситов. При этом наблюдаемые высокие интенсивности полос поглощения СН₃- и СН₂- групп свидетельствуют о преобладании парафино-нафтеновых структур, содержащих данные группы, в составе исследуемых «угольных жидкостей». Наличие подобных структур должно способствовать эффективному формированию из них углеводородов в ходе дальнейшей термической и/или каталитической переработки первичных продуктов ожижения барзасских углей.

Список литературы:

1. Sun Q., Fletcher J.J., Zhang Y, Ren X. Comparative Analysis of Costs of Alternative Coal Liquefaction Processes // Energy & Fuels. – 2005. – V. 19. – N 3. – P. 1160-1164. DOI: 10.1021/ef049859i.
2. Bae J.-S., Hwang I.S., Kweon Y.-J., Choi Y.-C., Park S.J. Economic Evaluations of Direct, Indirect and Hybrid Coal Liquefaction // Korean J. Chem. Eng. – 2012. V. 29. – N 7. – P. 868-875. DOI: 10.1007/s11814-011-0266-3.
3. Van Heek K H , Strobel B O, Wanzl W. Coal Utilization Processes and Their Application to Waste Recycling and Biomass Conversion // Fuel. – 1994. – V. 73. – N 7. – P. 1135-1143. DOI: 10.1016/0016-2361(94)90250-X.
4. Kaneko T., Derbyshire F., Makino E., Gray D., M. Tamura M. Coal Liquefaction // Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. V. 9. – Weinheim (Germany): Wiley-VCH, 2012. – P. 311-389. DOI: 10.1002/14356007.a07_197

Научный руководитель: д.т.н., доцент А.Р. Богомолов

ЦЗЯН ВЭЙ

Китайский университет горного дела и технологий

КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ГИДРИРОВАНИЕ АРОМАТИЧЕСКОГО КОЛЬЦА НАД НАНОЧАСТИЦАМИ РУТЕНИЯ, НАНЕСЕННЫМИ НА α -AL₂O₃ ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

WEI JIANG

China University of Mining and Technology

CATALYTIC HYDROGENATION OF AROMATIC RING OVER RUTHENIUM NANOPARTICLES SUPPORTED ON α -AL₂O₃ AT ROOM TEMPERATURE

Selective hydrogenation of aromatic ring represents an essential process for the valorization of lignin in the chemical industry but achieving this process at low temperature is still a challenge. Herein, a series of Ru-based catalysts were investigated. It is found that the performance of Ru/ α -Al₂O₃ in the selective hydrogenation of aromatic ring of different lignin-derived compounds at room temperature by using H₂ as the only source of hydrogen is excellent and is better than other types of Ru- and Pd-based catalysts tested. A unique and strong metal-support interaction for Ru/ γ -Al₂O₃ indicates that the Ru species are positive-charged due to the existence of the interfacial bonding of Ru-O-Al, which leads to the relatively low activity of Ru/ γ -Al₂O₃. No catalytic activity can be found for Pd/ α -Al₂O₃ with a relatively large particle size of Pd. When compared with other Ru- and Pd-based catalysts tested in the present study, the higher content of metal Ru in Ru/ α -Al₂O₃ detected with XPS and the X-ray absorption spectra facilitates the fast dissociation of H₂ to form the active hydrogen radicals. The DFT calculation shows that Ru/ α -Al₂O₃ has a higher adsorption energy of DPE for the hydrogenation of aromatic ring. Furthermore, the selective hydrogenation of aromatic hydrocarbons with specific functional groups to the corresponding aliphatic compounds can also be also achieved over Ru/ α -Al₂O₃. Therefore,

the application of Ru/ α -Al₂O₃ catalyst is promising to accelerate the production of sustainable platform chemicals.

CRedit authorship contribution statement:

Wei Jiang: Methodology, Conceptualization, Software, Investigation, Formal analysis, Visualization, Writing- original draft preparation. Jing-Pei Cao: Conceptualization, Supervision, Writing- reviewing & editing, Funding acquisition, Project administration. Chen Zhu, Ming Zhao, and Zhong-Hai Ni: Visualization, Software, Writing- original draft preparation. Xiao-Yan Zhao: Discussion, Writing- original draft preparation, Reviewing & editing. Jin-Xuan Xie and Liang Zhao: Investigation, Formal analysis. Yun-Peng Zhao and Hong-Cun Bai: Software, Validation, Formal analysis, Visualization.

List of references:

1. Wei Jiang, Jing-Pei Cao*, Chen Zhu, Ming Zhao, Zhong-Hai Ni, Xiao-Yan Zhao, Jin-Xuan Xie, Liang Zhao, Yun-Peng Zhao, Hong-Cun Bai. Catalytic hydrogenation of aromatic ring over ruthenium nanoparticles supported on α -Al₂O₃ at room temperature. Applied Catalysis B: Environmental, 2022, 307, 121137.

Supervisor of studies: Dr, professor Jing-Pei Cao

ЧАЙКИНА Я.И.

Национальный исследовательский томский политехнический университет

ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКА СТОЙКОЙ ВОДОНЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ

CHAIKINA Y.I.

National Research Tomsk Polytechnic University

INFLUENCE OF A CONSTANT MAGNETIC FIELD ON THE FLOW SPEED OF A STABLE OIL-WATER EMULSION

В работе предлагается обоснование внедрения магнитной системы в трубопровод при промышленной подготовке нефти с целью улучшения реологических характеристик потока и интенсификации работы промысла.

Актуальность исследования связана с добычей тяжелых нефтей, которые приобретают все большее значение в нефтяной промышленности в виду истощения запасов легких нефтей. Так как традиционным методом добычи нефти является заводнение пласта, а тяжелая нефть содержит большое количество парафинов, смол, асфальтенов, глины и других веществ, которые являются стабилизирующими, в результате чего образуются стойкие водонефтяные эмульсии с высокой вязкостью. Образование стойких водонефтяных эмульсий способствует усложнению процессов подготовки нефти, поэтому необходимо применять новые методы, приводящие к снижению их вязкости. Одним из перспективных направлений в данной области является применение постоянного магнитного поля, которое способствует эффективному процессу разделения эмульсий.

Цель работы заключалась в исследовании зависимости изменения скорости течения потока стойкой водонефтяной эмульсии после её обработки постоянным магнитным полем.

Объектом исследования являлись образцы стойкой водонефтяной эмульсии, характеризующейся объемной долей воды 40 % и наличием высокого содержания глинистых частиц.

Источником постоянного магнитного поля являлась магнитная система длиной 58 см, индукция которой составляла 200 мТл.

Эксперимент заключался в определении динамической вязкости образцов стойкой водонефтяной эмульсии, соответственно, перед и после магнитной обработки с помощью ротационного вискозиметра. Измерение проводилось при нормальных условиях. Прецизионность результатов подтверждал трижды.

По окончании была проведена расчетная часть исследования зависимости распределения профиля скорости течения стойкой водонефтяной эмульсии до и после магнитной обработки.

Для определения скорости течения потока были приняты следующие допущения [1]:

1. движение стойкой водонефтяной эмульсии рассматривали в круглой трубе длиной L и радиусом R под действием постоянного перепада давления ΔP ;
2. эмульсия представляет собой несжимаемую жидкость;
3. течение является ламинарным, т.е. числа $Re < 2300$.
4. динамическая вязкость водонефтяной эмульсии зависит от скорости сдвига $\dot{\gamma}$ по степенному закону:

$$\mu(\dot{\gamma}) = \frac{k}{\dot{\gamma}^{1-n}} \quad (1)$$

где: k – мера средней вязкости,

n – мера отклонения поведения жидкости от закона Ньютона;

5. течение в трубе является установившимся и происходит параллельными слоями, т.е. радиальная составляющая вектора скорости равна нулю.

По результатам расчета была получена зависимость, которая представлена на рисунке 1.

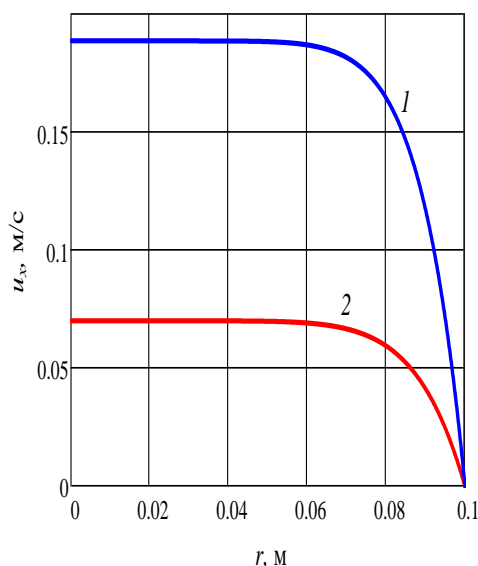


Рисунок 1. Зависимость распределения профиля скорости течения: 1 – стойкой водонефтяной эмульсии после обработки МС, 2 – исходная стойкая водонефтяная эмульсия

Согласно полученным результатам можно отметить, что при течении водонефтяной эмульсии в круглой трубе, ее профиль скорости существенно отличается от параболического профиля Пуазейля, характерного для течения неньютоновской жидкости.

Таким образом, полученная зависимость свидетельствует о том, что силовые магнитные поля оказывают влияние на структуру нефтяной дисперсной системы, в результате чего происходит её изменение. Для $r < 0.06$ м продольная скорость практически не изменяется, и эмульсия течет как твердое тело, поскольку в этой области канала скорости сдвига близки к нулю, и, следовательно, вязкость эмульсии имеет бесконечно большие значения.

Данное исследование полностью выполнено автором работы.

Список литературы:

1. Васильева, Е. И. О точном решении задачи движения вязкой сжимаемой жидкости в канале прямоугольной формы / Е. И. Васильева. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2011. — № 9 (32). — С. 7-10.

Научный руководитель: к.х.н., доцент Е.В. Бешагина

ЧЖАН ЛИЮНЬ, ФЭН СЯОБО, ЦАО ЦЗИНПЭЙ
Китайский университет горного дела и технологий

ПОВЫШЕНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕГИРОВАННОГО FE HMOR ПРИ КАРБЕНИЛИРОВАНИИ ДИМЕТИЛОВОГО ЭФИРА ПУТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КИСЛОТ БРЕНСТЕДА

ZHANG LIYUN, FENG XIAOBO, CAO JINGPEI
China University of Mining and Technology

ENHANCING THE CATALYTIC PERFORMANCE OF FE-DOPED HMOR IN DIMETHYL ETHER CARBONYLATION THROUGH REGULATING THE DISTRIBUTION OF BRØNSTED ACIDS

The paper proposes a simple and effective strategy to improve the catalytic performance of HMOR in dimethyl ether carbonylation through incorporating Fe into MOR framework to regulate the distribution of Brønsted acids (BAS).

The carbonylation of dimethyl ether (DME) to methyl acetate (MA) followed by hydrogenation provides a desirable way for producing ethanol from coal-derived syngas. The process embraces the advantages of high atom economy, low energy consumption, and few emissions, which make the reaction promising and competitive in industry. HMOR is considered as the most active catalyst for the carbonylation of DME due to its acidity and special structure of the channel^[1]. It has been widely accepted that the Brønsted acid sites in the 8-membered ring channel (B_{8-MR}) are responsible for catalytic activity, while the Brønsted acid sites in the 12-MR channel (B_{12-MR}) lead to the deactivation of catalysts. Therefore, tailoring the distribution of BAS is one of the most efficient strategies to enhance the catalytic performance of HMOR in dimethyl ether carbonylation. Isomorphous substitution can insert the heteroatom into the framework of HMOR via competitive occupancy between Al_F and the

heteroatom (such as $\text{Ce}^{[2]}$, $\text{Zn}^{[3]}$), which has shown great potential in regulating the distribution of BAS. It was reported that Fe^{3+} could behave similarly to Al^{3+} and it can incorporate into the zeolite framework easily^[4]. Therefore, Fe^{3+} is expected to endow the HMOR with tunable acidity.

In this work, a series of the Fe-doped HMOR zeolites were prepared using different Fe sources including $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ and FeCl_3 via one-pot hydrothermal synthesis method. The obtained catalysts were labeled as $x\text{SFe-HM}$, $x\text{NFe-HM}$, and $x\text{CFe-HM}$ ($x = 0, 0.2, 0.4$) respectively, in which x represented the mole ratio of Fe to Al in the original synthetic gel. The catalytic performance tests of catalysts were conducted in a fixed-bed reactor coupled with an on-line gas chromatograph. The DME and targeted product MA are detected by flame ionization detector. The conversion of DME (X_{DME}) and the selectivity of MA (S_{MA}) were calculated based on the reported method^[5].

It was found that different Fe sources have different effects on regulating the distribution of acid sites. As shown in the Fig.1, when using $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ and $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ as the Fe sources, the catalytic activity exhibited a volcanic trend with the increasing of Fe content, which showed a similar changes with the number of $\text{B}_{8\text{-MR}}$. Among the catalysts, 0.2SFe-HM with the relatively abundant $\text{B}_{8\text{-MR}}$ showed the best catalytic performance that the X_{DME} reached 99% and the S_{MA} was well maintained at 90% without an obvious decrease. Compared to the parent HM, the X_{DME} of 0.2SFe-HM increased by nearly 40.5%. However, the catalytic activity of MOR was not promoted when $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ and FeCl_3 were used as the Fe sources.

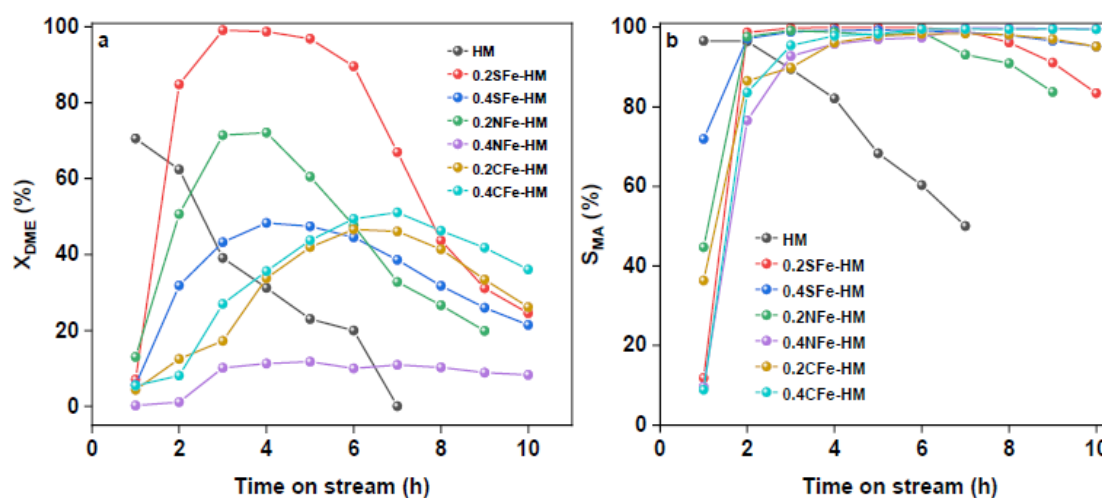


Figure 1. The X_{DME} (a) and the S_{MA} (b) over different catalysts

We concluded that the number of $\text{B}_{8\text{-MR}}$ was largely enriched and the catalytic performance of HMOR was greatly improved as using the $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ as the Fe sources. The work provided a promising way to prepare the HMOR with high performance in the carbonylation of DME.

Contributions by each author: Liyun Zhang: Methodology, Writing original draft, Formal analysis; Xiaobo Feng: Validation, Writing-review & editing; Jingpei Cao: Validation, Funding acquisition, Supervision

List of references:

1. Bhan A, Ayman A D, Sunley G J, et al. Specificity of sites within eight-membered ring zeolite channels for carbonylation of methyls to acetyls[J]. Journal of the American Chemical Society, 2007, 129: 4919-4924.
2. Li Y, Huang S Y, Cheng Z Z, et al. Promoting the activity of Ce-incorporated MOR in dimethyl ether carbonylation through tailoring the distribution of Brønsted acids[J]. Applied Catalysis B: Environment, 2019, 256: 117777.
3. Zhang Z T, Zhao N, Ma K, et al. Isolated zinc in mordenite stabilizing carbonylation of dimethyl ether to methyl acetate[J]. Chinese Chemical Letters, 2019, 30: 513-516.
4. Zhang J, Tang X L, Yi H H, et al. Synthesis, characterization and application of Fe-zeolite: A review[J]. Applied Catalysis A: General, 2022, 630: 118467.
5. Yao J, Feng X B, Fan J Q, et al. Effects of mordenite zeolite catalyst synthesis conditions on dimethyl ether carbonylation[J]. Microporous and Mesoporous Materials, 2020, 306: 110431.

Supervisor of studies: Dr, professor Jing-Pei Cao

ЧЖАО ЦИН-ПИН, ЦАО ЦЗИН-ПЕЙ

Китайский университет горного дела и технологий

**КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОГАЩЕНИЕ ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ ПИРОЛИЗА
БУРОГО УГЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОГО AlF_3
HZSM-5 ДО ЛЕГКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ:
СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ОДНОСТАДИЙНОГО
ДЕАЛЮМИНИРОВАНИЯ И РЕАЛЮМИНИРОВАНИЯ**

ZHAO JING-PING, CAO JING-PEI

China University of Mining and Technology

**CATALYTIC UPGRADING OF LIGNITE PYROLYSIS VOLATILES OVER AlF_3
MODIFIED HZSM-5 TO LIGHT AROMATICS: SYNERGISTIC EFFECTS OF ONE-
STEP DEALUMINATION AND REALUMINATION**

Pyrolysis, as a key step in coal conversion, can produce solid char, liquid products (coal tar and pyrolysis water), and gases. Nevertheless, due to the complex chemical composition and structure of lignite, coal tar generally contains a large amount of pitch, even exceeding 50%. This low-quality coal tar usually causes a series of problems in the subsequent processes, which limits the utilization of pyrolysis technology in industrial production. Therefore, it is necessary to improve the quality of tar during coal pyrolysis.

The objective of this study is to modify the acid and textural properties of HZSM-5 (HZ5) zeolites for upgrading the heavy components into light fractions and enhancing the yield and content of light aromatics (LAs) during lignite pyrolysis. The AlF_3 -modified HZ5 zeolites were prepared by mechanical mixtures of $AlF_3 \cdot 3H_2O$ with HZ5 zeolite at room temperature, followed by drying at 110 °C and calcining at 500 °C. These AlF_3 -modified samples were designated as HZ(x), where x was the mass percentage ratio of $AlF_3 \cdot 3H_2O$. The schematic diagram of the fast pyrolysis process is shown in Figure 1.

The results revealed that the appropriate amount of AlF_3 modification can simultaneously dealuminize and aluminize to enhance the catalytic performance, in which dealumination considerably enlarged the pores while realumination generated more mid-strength acid sites to compensate for the loss of acid sites caused by dealumination. The order of catalytic activity of the AlF_3 modified catalysts for LAs was $\text{HZ-2} > \text{HZ-1} > \text{HZ-3} > \text{HZ5} > \text{HZ-5}$, as shown in Figure 2. HZ-2 (HZSM-5 mixed with 2 wt% AlF_3) obtained the maximum light aromatics yield of 31.0 mg/g as a result of its abundant mesopores and suitable mid-strength acid sites, especially the yield of benzene increased by 6.3 mg/g in comparison with the original HZSM-5. However, mixing with only a small amount of AlF_3 generated the most serious carbon depositions because of the acidity enhancement by the critical role of aluminium. Moreover, excessive AlF_3 etched more framework Al that dramatically reduced the mid-strength acid sites, inhibiting the formation of light aromatics, although the enlargement of pore size facilitated mass transfer. This one-step modification combining the expansion of the pore size and the optimization of acid sites provides a promising strategy for upgrading the lignite pyrolysis volatiles.

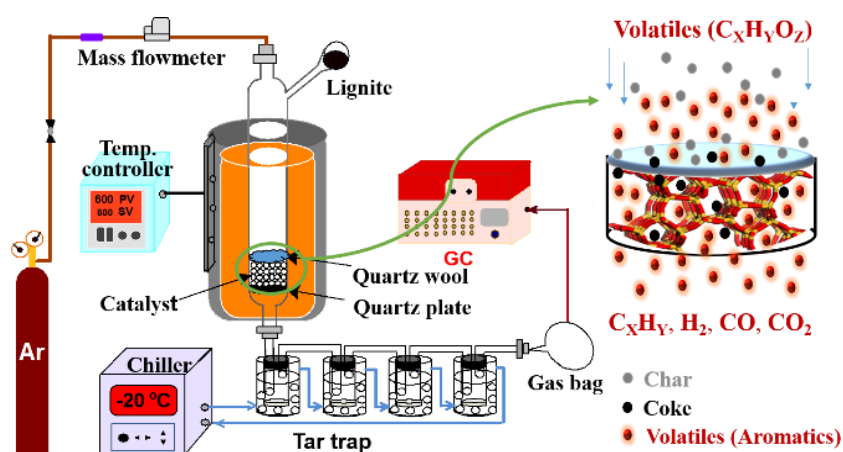


Figure 1. Schematic diagram of the fast pyrolysis process

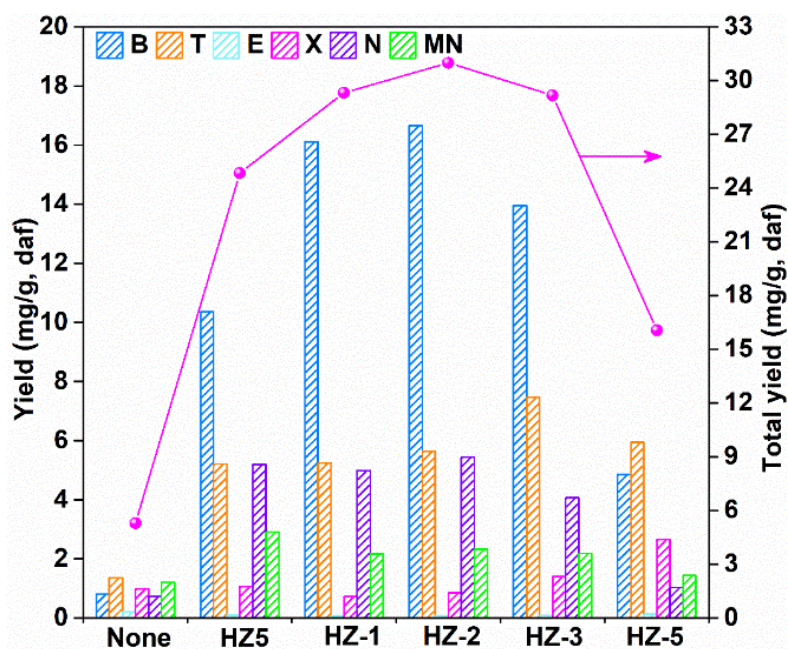


Figure 2. Effect of modified zeolites on BTEXN yield

List of references:

1. Wei B Y, Jin L J, Wang D C, et al. Catalytic upgrading of lignite pyrolysis volatiles over modified HY zeolites. *Fuel* 2020, 259, 116234.
2. Zhao J P, Cao J P, Wei F, et al. Catalytic reforming of lignite pyrolysis volatiles over sulfated HZSM-5: Significance of the introduced extra-framework Al species. *Fuel* 2020, 273, 117789.
3. Yan L J, Kong X J, Zhao R F, et al. Catalytic upgrading of gaseous tars over zeolite catalysts during coal pyrolysis. *Fuel Process. Technol.* 2015, 138, 424-429.
4. Lv P, Yan L J, Liu Y, et al. Catalytic conversion of coal pyrolysis vapors to light aromatics over hierarchical Y-type zeolites. *J. Energy Inst.* 2020, 93, 1354-1363.
5. Fan Y, Bao X J, Lin X Y, et al. Acidity adjustment of HZSM-5 zeolites by dealumination and realumination with steaming and citric acid treatments. *J. Phys. Chem. B* 2006, 110, 15411- 15416.
6. Yang Q, Kong M, Fan Z Y, et al. Aluminum fluoride modified HZSM-5 zeolite with superior performance in synthesis of dimethyl ether from methanol. *Energy Fuels* 2012, 26, 4475- 4480.
7. Li J H, Liu H. Y, Li F J, et al. Aluminum fluoride modified beta zeolite as highly selective catalyst for the esterification of sec- butanol with acetic acid. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2018, 57, 10876-10882.
8. Zhao J P, Cao J P, Wei F, et al. Sulfation-acidified HZSM-5 catalyst for in-situ catalytic conversion of lignite pyrolysis volatiles to light aromatics. *Fuel* 2019, 255, 115784.

Supervisor of studies: Dr, professor Jing-Pei Cao

ШЕНГУАН ФУ

Китайский университет горного дела и технологий

**СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ КОНЦЕНТРАЦИИ
ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ГАЗА В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ И ОСНОВНЫХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СПОСОБОВ НА ФОНЕ ПИКА ВЫБРОСОВ УГЛЕРОДА
И НЕЙТРАЛЬНОСТИ**

SHENGUANG FU

China University of Mining and Technology

**RESEARCH STATUS OF THE UTILIZATION OF COAL MINE VENTILATION
GAS CONCENTRATION AND KEY TECHNOLOGY WAYS UNDER THE
BACKGROUND OF CARBON PEAKING AND NEUTRALITY**

The paper proposes the utilization of coal mine gas in China and the material improvement technology of ventilation air methane enrichment under the background of carbon neutrality and carbon peaking.

In China, the exhaust volume of spent air gas accounts for more than 80% of the total direct exhaust volume of coalbed methane. The annual direct exhaust volume is more than 10 billion cubic metres, and the greenhouse effect is nearly 200 million tons of CO₂ equivalent.

The research objective of paper is to explore the existing gas utilization pathways at this stage and compare their advantages and disadvantages, and at the same time summarize and screen the improved technologies of the lack of wind gas thicken materials, and select excellent substrate materials and improvement methods. The main research method is to summarize the research hotspots in combination with the visual data analysis software-VOSviewer, and practice and innovate the feasible improvement scheme.

In general, ultra-high concentration gas originates from surface extraction, which can cover the raw materials of liquefied natural gas, compressed natural gas, pipeline natural gas, etc.; medium and high concentration gas originates from surface well pressure relief and extraction along the air, acting on internal combustion engines, gas turbines, fuel cells, urban gas purification, chemical processing and industrial raw materials, etc.; medium and low concentration gas can be obtained in underground drilling and extraction, according to its low concentration characteristics, it can be used again after enrichment, which has many effects on the internal fuel, metal fiber device, fuel cell, etc Both low-concentration gas and ultra-low concentration gas need to be treated by concentration method before they can be used.

Carbon materials and metal organic skeletons have superior properties for the enrichment of anechoic methane, in order to synthesize the advantages of the two, the researchers proposed that the metal cluster modified carbon molecules in a way to superimpose the selective weak chemical adsorption effect of metals on gas molecules superimposed on the carbon molecular material, taking the iron oxide as an example, the process of modification is shown in Figure 1, it is worth noting that the skeleton is more abundant after metal modification, which has a certain impact on the kinetic effect; therefore, metal modification can not only be selective, but also selective.

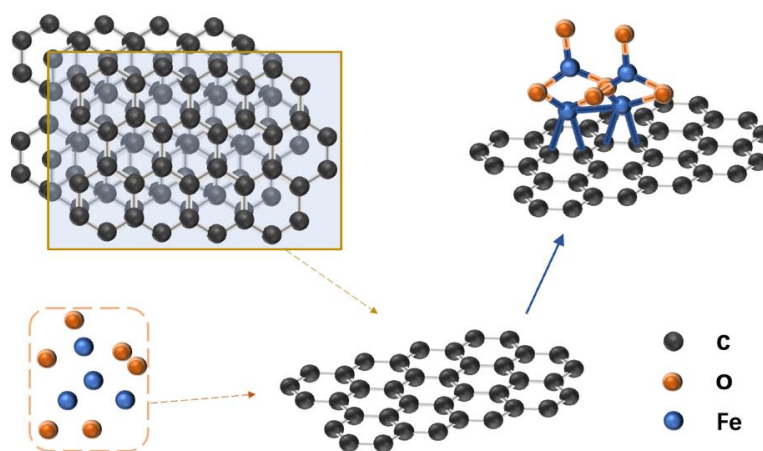


Figure 1. Preparation of composite purified materials

Combined with statistical projections, the aneffic methane emissions after the application of enrichment means are plotted as shown in Table 1.

Table 1. Emissions forecast of windless gas year by year

Time	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Emissions	54.75	54.58	54.42	54.25	54.08	53.67	53.25	52.84	52.42	52.01
Time	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040

Emissions	51.52	51.03	50.53	50.04	49.55	49.09	48.62	48.15	47.69	47.22
Time	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Emissions	46.75	46.29	45.82	45.35	44.88	44.41	43.94	43.47	43.00	42.53

Note: The time unit in the table is annual, and the emission unit is one million tons of carbon dioxide equivalent (MMTCO_{2e})

On the basis of a certain control of the emission of windless gas, the utilization rate will be increased, and the utilization efficiency will be improved. Combined with China's coal consumption, the efficient use of lack of wind gas will also enable clean energy to further share the consumption of coal energy, thereby reducing the environmental pollution caused by coal power generation, heating and other processes, and making great contributions to achieving the carbon peaking and alleviating climate problems such as the greenhouse effect. Therefore, the efficient use of lack of wind gas and the enrichment of enrichment will bring two major benefits: economic benefits and environmental benefits.

List of references:

1. Inventory of anthropogenic methane emissions in Mainland China from 1980 to 2010
2. “Extreme utilization” development theory of unconventional natural gas
3. Global Non-CO₂ Greenhouse Gas Emission Projections & Mitigation
4. Overview and Outlook on Utilization Technologies of Low-Concentration Coal Mine Methane
5. Influence of gas composition and properties on the combustion and heat transfer characteristics of pulverized oxy-coal boiler
6. Vacuum pressure swing adsorption process for coalbed methane enrichment
7. Progress of recovery of coal bed methane and adsorption materials for separation of CH₄/N₂ by pressure swing adsorption
8. Fundamentals of natural gas processing
9. A novel standpoint of Pressure Swing Adsorption processes multi-objective optimization: An approach based on feasible operation region mapping
10. Parallel and series multi-bed pressure swing adsorption processes for H₂ recovery from a lean hydrogen mixture
11. Coal mine methane: A review of capture and utilization practices with benefits to mining safety and to greenhouse gas reduction
12. Scientific and technological innovation to solve the problem of air drainage gas harm for benefit
13. Ex-post assessment of the Kyoto Protocol – quantification of CO₂ mitigation impact in both Annex B and non-Annex B countries

Supervisor of studies: PhD in Safety Science and Engineering, professor Liang Wang

ШИТИКОВ Н.В.

Кубанский государственный технологический университет

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ УЛАВЛИВАНИЯ CO₂ НА УСТАНОВКАХ
ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА**

SHITIKOV N.V.

Kuban State Technological University

**DEVELOPMENT OF CO₂ CAPTURE TECHNOLOGY IN HYDROGEN
PRODUCTION PLANTS**

В работе предлагается обоснование перспектив включения блока декарбонизации дымовых газов в состав установок производства водорода на нефтеперерабатывающих предприятиях.

Вследствие широкого развития гидрогенизационных процессов переработки нефти на современных нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) возрастает потребность в водороде. Основными критериями выбора способа производства водорода являются как экономические показатели для конкретного региона (стоимость энергоносителей и т.д.), так и технологические показатели (мощность производства, требуемая степень чистоты водорода и т.д.). Наиболее распространенным промышленным способом производства водорода продолжает оставаться паровой риформинг метана (SMR - steam methane reforming), позволяющий получать так называемый «серый» водород, так как процесс сопровождается значительными выбросами в атмосферу CO₂ – одного из значимых парниковых газов. Более экологичное производство «голубого» водорода возможно за счет дополнительного использования технологии по улавливанию и хранению CO₂ (CCS - carbon capture and storage), что однако добавляет по меньшей мере 20-40% к себестоимости SMR-водорода [1]. Экономическая эффективность реализации проектов CCS напрямую зависит от уровня цены и/или налога на CO₂, а также от прогресса в развитии технологий и сокращении затрат. Действующие на данный момент в мире проекты носят пилотный характер, требуют мер господдержки и не являются прибыльным бизнесом для нефтегазовых компаний [2]. Апробация и отработка совмещенных технологий SMR+CCS проводится в рамках трех основных проектов - Port Arthur в США, Quest в Канаде и Tomakomai в Японии. В конце 2021 года правительство Российской Федерации утвердило стратегию по развитию технологий декарбонизации в нашей стране. В связи с этим и, принимая во внимание, что лицензиаром (правообладателями) подобных технологий выступают зарубежные компании, перспективным направлением является разработка отечественных технологических решений по улавливанию и дальнейшему использованию CO₂. При этом особую актуальность представляет их внедрение в регионах, где промышленные предприятия с высокой долей выбросов в атмосферу располагаются в непосредственной близости от гражданской или курортной инфраструктуры.

Целью исследования является разработка технологии улавливания CO₂ из дымовых газов печей парового риформинга, позволяющая интегрировать ее в состав отечественных НПЗ. В задачи исследования входят разработка технологической схемы установки, выбор оптимальных условий процесса, расчет основного технологического оборудования и технико-экономических показателей.

Традиционная установка производства водорода паровой конверсией легких углеводородов состоит из следующих технологических стадий: подготовка и риформирование сырья, низкотемпературная конверсия СО и концентрирование (очистка) водорода методом короткоциклового адсорбции (КЦА) [3, 4]. Основным источником образования и эмиссии CO_2 в атмосферу являются печи риформинга, в которых обеспечение заданной температуры процесса происходит за счет сжигания топливного газа. Включение в состав водородных установок блока декарбонизации образующихся дымовых газов (рис. 1) позволит значительно снизить углеродный след выпускаемой продукции.

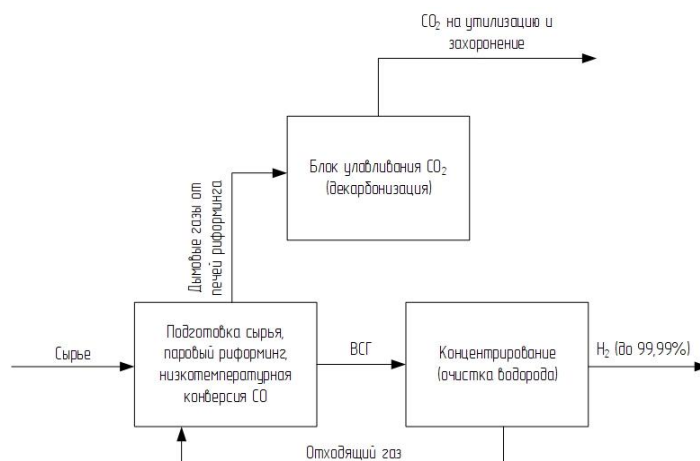


Рисунок 1. Блок-схема установки производства водорода с блоком декарбонизации дымовых газов

Улавливание CO_2 может осуществляться сорбционными методами, мембранным или криогенным разделением. Каждая из технологий характеризуется своими преимуществами и одновременно трудностями внедрения на практике. Общим недостатком пока продолжает оставаться относительно высокая стоимость таких технологий, фактическое отсутствие товарной продукции, которая могла бы обеспечить быструю окупаемость. Следовательно, рационально для этих целей использовать уже известные процессы, способные удалять CO_2 из газов. Перспективным в этом отношении является процесс обратимой химической абсорбции, которая характеризуется достаточно высокой эффективностью, селективностью и широко применяется на нефте- и газоперерабатывающих предприятиях для очистки природного и нефтезаводских газов от кислых компонентов. В качестве абсорбентов используются главным образом растворы алканоламинов (МЭА, ДЭА, 2-аминопропанол, МДЭА). Также разработаны процессы на базе водного раствора аммиака (Chilled Ammonia Process) и процессы с образованием осадка на базе растворов солей аминокислот или K_2CO_3 .

При разработке технологии улавливания CO_2 из дымовых газов необходимо учитывать отрицательное влияние на процесс хемосорбции таких компонентов как кислород, азота и др., а также повышенную коррозионную активность газов с высокой концентрацией CO_2 [5]. Проведенные патентные исследования по проблеме извлечения CO_2 из отходящих промышленных газов с использованием аминов позволили выявить

основные направления разработок по улучшению технико-экономических показателей процесса.

В программном обеспечении ASPEN Hysys была смоделирована установка аминовой очистки дымовых газов с высоким содержанием CO₂ (около 26 % мас.) с использованием в качестве абсорбента раствора ДЭА и пиперазина следующего состава: 40% ДЭА, 10% пиперазина и 50% воды. Использование пиперазина в качестве добавки способствует возрастанию кинетики абсорбции CO₂ из дымовых газов. В результате очищенные дымовые газы содержат не более 0,05% мас. CO₂.

Таким образом, разрабатываемая технология улавливания CO₂ направлена на получение низкоуглеродного водорода для нужд нефтепереработки и может представлять практический интерес при проектировании и строительстве новых комбинированных установок производства водорода или модернизации существующих водородных установок путем включения в их состав блока декарбонизации.

Список литературы:

1. Конопляник А. Чистый водород из природного газа // Корпоративный журнал ПАО «Газпром», 2020. – № 9. – С. 20-29.
2. Декарбонизация нефтегазовой отрасли: международный опыт и приоритеты России / Под ред. Митровой Т., Гайда И. – М.: Московская школа энергетики «Сколково», март 2021. – 166 с.
3. ИТС 30-2021 Переработка нефти. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. – Москва, 2021. – 700 с.
4. Мейерс Р.А. Основные процессы нефтепереработки. Справочник: пер. с англ. 3-го изд. / [Р.А. Мейерс и др]; под. ред. О.Ф. Глаголевой, О.П. Лыкова. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2011. – 944 с.
5. Афанасьев С.В. Углекислый газ как сырье для крупнотоннажной химии // Деловой журнал Neftegaz.RU, 2019. – № 9. – С. 94-106.

Научный руководитель: к.т.н., доцент М.Ю. Нисковская

ЩЕРБАНЬ А.И., БАСИШВИЛИ А.Д.
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

СОЗДАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПРИСАДОК И ОЦЕНКА ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ В ЛЕТНЕМ ДИЗЕЛЬНОМ ТОПЛИВЕ

SHCHERBAN A.I., BASISHVILI A.D.
Gubkin Russian State University of Oil and Gas

CREATION OF POLYMERIC COMPOSITE ADDITIVES AND EVALUATION OF THEIR EFFECTIVENESS IN SUMMER DIESEL FUEL

В работе проводится сравнение эффективности двух депрессорных присадок на основе поли(мет)акрилата и сополимера этилена с винилацетатом.

Актуальность исследования: в настоящее время отечественные исследователи стремятся разработать и заменить иностранные присадки к дизельным топливам (ДТ) в условиях возможных санкций.

Целью нашего исследования является оценка эффективности депрессорных присадок различной химической природы.

Объекты и методы исследования:

Топливо дизельное производство Новокуйбышевск ПАО «НК Роснефть» сорта В. Исходные характеристики топлива даны в таблице 1.

Присадки: (1) на основе сополимеров алкилметакрилатов с винилацетатом (АМА); (2) на основе сополимеров этилен винилацетата (ЭВА) и АМА; (3) диспергатор парафинов на основе алкилсукцинимиды в составе (2).

При выполнении работы определяли два параметра: температуры застывания (Тз) по 20287-91 и температура фильтруемости (Тф) по ГОСТ 22254-92 на приборе производства АО Нефтехимавтоматика. Очевидно, что задачей разрабатываемой композиционной присадки является обеспечение бесперебойной работы топливной системы дизельного двигателя в условиях низких температур. Кроме того, эффективная современная присадка должна содержать диспергатор, который обеспечивает агрегативную и седиментационную устойчивость топливной дисперсной системы (ТДС).

На рисунках 1 и 2 представлены полученные экспериментальные результаты

Как видно из зависимостей (1) и (2) лучшие результаты обеспечиваются при концентрации 0,04 масс. % для параметра Тз и 0,07 масс. % для ПТФ (CFPP). Согласно требованиям ТР ТС и ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009) температура фильтруемости нормируется для сорта «D» - 10°C, для сорта «E» -15°C, а Тз не нормируется. Однако, нашей целью было доказать возможное использование композиционной присадки на основе АМА и ЭВА в составе летнего ДТ и получение на его основе ДТ марки «D» и «E».

Таблица 1. Характеристика летнего топлива

№	Наименование показателя	Значение
1	Плотность при 20°C, кг/м ³	823
2	Кинематическая вязкость при 40 °С, мм ² /с	4,825
3	Предельная температура фильтруемости, °С	-2
4	Температура застывания, °С	-9
5	Фракционный состав: температура начала кипения температура конца кипения перегоняется до температуры 180 °С, % об.	121,80 351,50 5

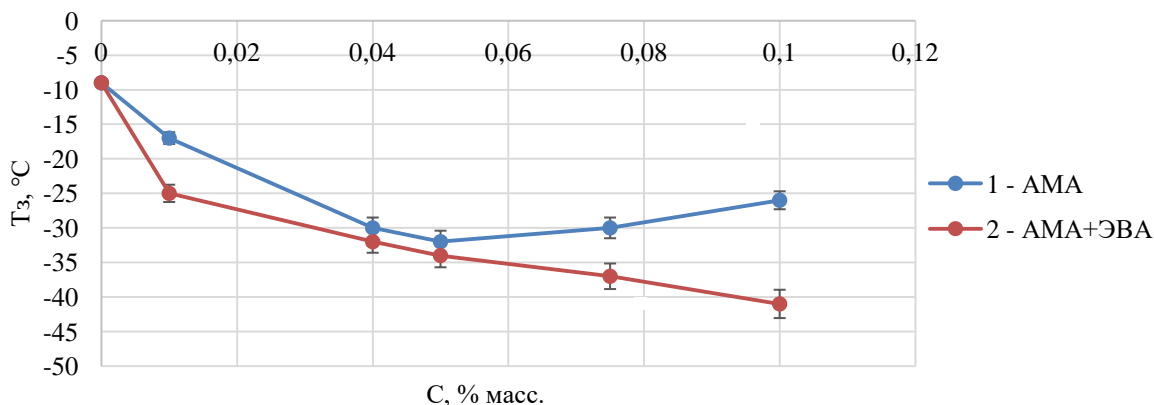


Рисунок 1. Зависимость температуры застывания (Тз) летнего дизельного топлива от химической природы депрессора и депрессорной композиции

*АМА – сополимеры поли(мет)акрилат

**ЭВА – сополимер этилена с винилацетатом, соотношение компонентов в депрессорной композиции ПМА+ЭВА = 1:1

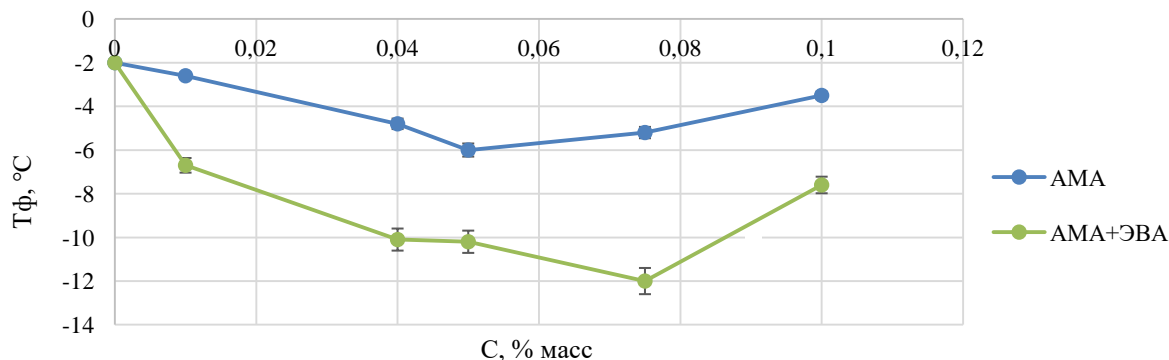


Рисунок 2. Зависимость температуры предельной температуры фильтруемости (Тф) летнего дизельного топлива от химической природы депрессора и депрессорной композиции

Таким образом, введение композиционной присадки на основе двух сополимеров: АМА и ЭВА с диспергатором позволяют из летнего топлива сорта «В» получить сорт «D» и межсезонный сорт «Е».

Вклад авторов: Концептуализация, Басишвили А.Д., Гришина И.Н.; обработка данных, Басишвили А.Д. и Щербань А.И., Гришина И.Н.; руководство, Гришина И.Н.; визуализация, Щербань А.И.; написание – исходная рукопись, Щербань А.И. и Басишвили А.Д.; написание – правки и корректура, Гришина И.Н.

Список литературы:

1. Башкатова С. Т. Присадки к дизельным топливам. – М.: Химия. – 1994. – 256с.
2. С.Т. Башкатова, И.Н. Гришина, О.В. Попова, В.А. Винокуров Межмолекулярное взаимодействие и механизм действия присадок в топливной дисперсной системе: Учебное пособие. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. – 2011. – 45с.
3. И.Н. Гришина Физико-химические основы и закономерности синтеза, производства и применения присадок, улучшающих качество дизельных топлив – М.: нефть и газ. – 2017. – 230с.

Научный руководитель: к.х.н., доцент И.Н. Гришина

ЮСУПОВ М.Р.

Уфимский государственный нефтяной технический университет

ФРАКЦИЯ 170-КК КАК ИСТОЧНИК СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПЛОТНЫХ РЕАКТИВНЫХ ТОПЛИВ

YUSUPOV M.R.

Ufa State Petroleum Technical University

170-KK FRACTION AS A SOURCE OF RAW MATERIALS FOR OBTAINING HIGH-DENSITY JET FUEL

В работе рассмотрена возможность использования вырабатываемой побочной фракции 170-кк, на комплексе производства ароматических углеводородов, как потенциального источника образования ароматических углеводородов C_{10+} , которые могут служить дополнительным сырьем в производстве высокоплотных реактивных топлив.

На сегодняшний день авиапромышленность имеет существенное значение для каждой страны в мире, как для экономической составляющей, так и для соблюдения интересов национальной безопасности. При этом стоит отметить, что активно ведутся дискуссии о расширении применения сверхзвуковой авиации [1,2]. Обеспечение функции снабжения такой огромной отрасли топливом, соответствующего строгим требованиям и стандартам, накладывается на отечественные НПЗ. Топливо для сверхзвуковой авиации получают или из нефтяных фракций вторичного происхождения в процессе гидрокрекинга при высоких давлениях или путем органического синтеза, при этом в обоих случаях эксплуатационные и капитальные затраты велики, что приводит к ограничению его производства. В [2,3] авторами разработан способ получения высокоплотных реактивных топлив марок Т-6 и Т-8В путем гидрирования остатка C_{10+} комплекса производства ароматических углеводородов (КПА). Преимущество данного способа заключается в гидрировании бессернистого сырья, но малое количество производимого ароматического концентрата и ограничение фракционного состава сырья установки каталитического риформинга также сдерживают его применение.

Основными секциями комплекса производства ароматических углеводородов является гидрооблагораживание, предфракционирование и сам риформинг бензиновых фракций. При предфракционировании гидрогенизата выделяют как легкие фракции (нк-70°C), так и тяжелую фракцию 170-кк (остаток гидрогенизата). Ранее авторами в [4] были проанализированы физико-химические свойства тяжелой фракции, и сделаны выводы, о том, что данный поток представлен преимущественно углеводородами C_9 и C_{10} (20,73% и 60,48%), и 90% входящие в него фракции выкипают в пределах 160-180 °С. Данный поток направляют в дизельное топливо по причине ограничения конца кипения сырья риформинга и интенсификации образования коксогенных структур на катализаторе. Однако вовлечение тяжелой фракции в процесс риформинга с

непрерывной регенерацией катализатора как раз устраняет риски с связанные с коксумостью в процессах риформинга со стационарным слоем катализатора и позволяет получить высокоароматизированный остаток C_{10+} в большем количестве.

Поскольку имитировать работу установки с регенерацией катализатора затруднительно, оценку возможности использования фракции 170-кк как компонента сырья установки CCR проводили путем моделирования в программном продукте Aspen Hysys (мнемосхема модели представлена на рисунке 1). Для создания модели и её калибровки на реальные условия использовали данные по свойствам и составам сырья и продуктов установки с учетом фактического технологического режима.

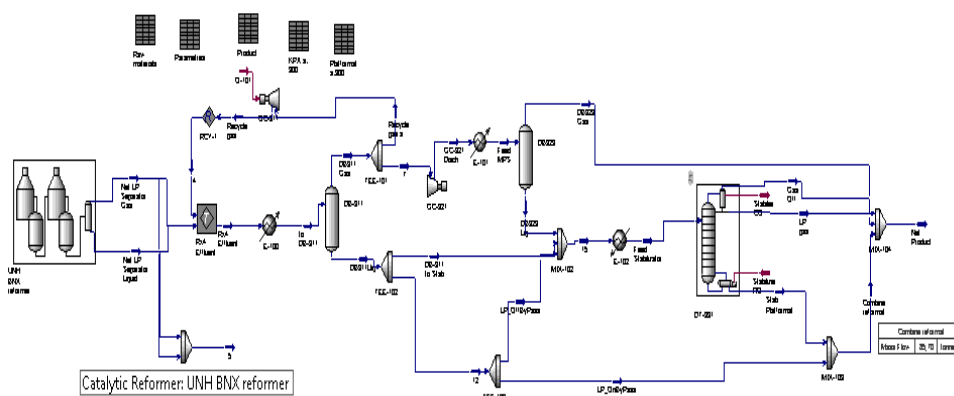


Рисунок 1. Мнемосхема модели установки CCR

Из результатов расчетов модели можно сделать вывод, что увеличение доли фракции 170-кк в сырье риформинга неоднозначно: с одной стороны при максимальном добавлении побочной фракции идет улучшение показателей процесса, т.е. увеличивается выход реформата (на 1,6%), чистота циркулирующего ВСГ (на 1,6%) и содержание ароматических углеводородов (на 3,75%), что связано с превращением углеводородов $C_{10}-C_{11}$. Интересно, что интенсификации реакций гидрокрекинга не происходит и углеводороды C_{10-11} действительно лучше ароматизируются. Количество дополнительного остатка C_{10+} увеличивается почти на 12,7% мас., т.е. образуется дополнительный источник сырья для получения высокоплотного реактивного топлива. Вместе с этим количество кокса на катализаторе увеличивается в 2 раза, что приведет к интенсификации работы блока регенерации. Таким образом, можно сделать вывод, что установка CCR при добавлении фракции 170-кк может стать основой для получения сырья для гидрирования ароматических концентратов с целью получения топлив Т-6 и Т-8В.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90189.

Список литературы:

1. Внукова О.В. Сверхзвуковая авиация - авиация будущего / Внукова О.В. Царькова Ю.Р.// В сборнике: Фундаментальные и прикладные научные

исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации. Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции. Нефтекамск, 2021. С. 7-10.

2. Ахметов А.В. Получение высокоплотных компонентов реактивных топлив для сверхзвуковой авиации путем гидрирования концентратов ароматических углеводородов: дис. ... канд. тех. наук: 05.17.07 / Ахметов А.В. – Уфа, 2014. – 157 с.
3. Патент № 2 535670 Российская Федерация, МПК C10L 1/04 (2006.01) Способ получения реактивного топлива для сверхзвуковой авиации № 2013118055/04
4. заявл 18.04.2013; опубл. 20.12.2014 / Ахметов Артур Вадимович, Ахметов Арслан Фаритович, Осипенко Александр Григорьевич заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет" – 5 с.: ил.
5. Юсупов М.Р. Использование фракции 170-кк, вырабатываемой на комплексе производства ароматических углеводородов / Юсупов М.Р., Аюпов Э.Р. Амиров А.Р., Ганцев А.В., Ахметов А.Ф. // Нефтегазовое дело. Сетевое издание. –2021. – № 4. - С. 69-88.

Научный руководитель: д.т.н., профессор А.Ф. Ахметов

**Секция 6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
ОБОГАЩЕНИЯ РУД ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МЕТАЛЛУРГИИ И ИХ
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ**

АГИШЕВ Р.Р.

Заполярный государственный университет имени Н.М. Федоровского

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОБОЛОЧКОВЫХ ФУРМ
В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КОНВЕРТЕРАХ ПИРСА-СМИТА ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ
МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО ШТЕЙНА НМЗ ИМ Б.И. КОЛЕСНИКОВА**

AGISHEV R.R.

N.M. Fedorovsky Polar State University

**INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF USING SHELL LANCES IN
HORIZONTAL PIERCE-SMITH CONVERTERS IN THE PROCESSING OF
COPPER-NICKEL MATTE NMZ IM. B.I. KOLESNIKOVA**

Конвертирование никелевых штейнов с получением файнштейна достаточно давно и широко применяемый процесс, в ходе которого применяется горизонтальный конвертер типа Пирса-Смита, который по сей день остается основным агрегатом в производстве никеля, за счет своей простоты и экономической эффективности.

Вместе с тем, при всей простоте и хорошей изученности процесса, он обладает существенным недостатком – непродолжительной кампанией конвертера связанной с быстрым износом футеровки в фурменной зоне конвертера. Износ обусловлен высокими температурными и химическим взаимодействием продуктов конвертирования с огнеупорной футеровкой конвертера. Характерный период кампании никелевого конвертера на воздушном дутье составляет от 12 до 20 суток.

Основной целью никелевого конвертирования штейнов печи взвешенной плавки (ПВП) и штейнов объединительных электропечей (ОЭП) на НМЗ является получение файнштейна, коллектирующего никель, медь, кобальт и драгоценные металлы в файнштейне.

Актуальность исследования

Недостатком горизонтальных конвертеров Пирса-Смита является невозможность высокой степени обогащения дутья кислородом без разработки фурм для подачи дутья специальной конструкции, предотвращающей повышенный износ (прогар) фурм и разрушение фурменного пояса (огнеупорного кирпича) при использовании обогащенного кислородом дутья. Наибольшая степень обогащения дутья кислородом без использования фурм специальной конструкции составляет 25-27% [1, 2].

Перспективным направлением развития конвертерного передела является оборудование конвертеров фурмами с защитными оболочками [3, 4]. Установка ФЗО позволит увеличить производительность передела при увеличении кампании конвертеров.

В настоящее время происходит снижение качества поступаемого на плавку и дальнейшую переработку сырья.

Поэтому целью данной работы был поиск решения по улучшению ведения технологического процесса.

Основной задачей является

Проведение анализа литературы на заданную тему.

Методы исследования: анализ литературных источников.

Основная часть

В настоящее время происходит добавление техногенных материалов в процессе плавки в ПВП. Полученный медно-никелевый штейн содержит в себе значительное количество недоокисленного железа, которое требует дальнейшего перевода в шлак в процессе конвертирования. Применение оболочковых фурм с обогащением дутья кислородом до 40-45% позволяет значительно ускорить процесс перевода железа в шлак.

Стабильная работа оболочковых фурм обеспечивается при контроле температуры расплава (факела дутья), что позволяет своевременно снижать температуру ванны загрузкой холодных твердых оборотов.

Кроме этого внедрение оболочковых фурм позволит существенно увеличить переработку холодных, твердых оборотов.

Технология конвертирования с оболочковыми фурмами позволяет получать высокосернистые газы, пригодные для утилизации с получением серной кислоты и/или элементарной серы, перерабатывать сырьё низкого качества, сократить периоды набора штейна и варки «файнштейна», повысить производительность конвертерного предела [1, 2].

В процессе исследований установлено, что использование оболочковых фурм с уменьшенным диаметром фурмы для подачи КВС приводит к уменьшению объема подаваемого в конвертер дутья и к уменьшению объема отходящих газов. Уменьшение объема отходящих газов приводит к снижению тепловой нагрузки на горловину конвертера на газоходный тракт и общему пылевыносу из конвертера. При использовании обогащенного кислородом дутья следует ожидать более высокой скорости разогрева расплава.

Получение дополнительного эффекта в качестве использования защитной среды (природный газ), заключается в восстановлении продуктами конверсии природного газа оксидных соединений железа, что увеличивает металлизацию сульфидного штейна, и оксидов никеля и кобальта и уменьшает их потери со шлаком [5].

Данные достоинства положительно скажутся на технико-экономических показателях конвертерного предела в целом.

Выводы

В ходе проделанной работы были выявлены следующие положительные стороны ведения процесса с оболочковыми фурмами:

1. Повышение срока работы фурм
2. Повышение скорости ведения процесса за счет обогащения дутья кислородом
3. Повышение производительности процесса конвертирования
4. Получение богатых по содержанию SO₂ газов пригодных для дальнейшей переработки
5. Получение меньшего количества серосодержащих газов, влияющих на экологию окружающей среды
6. Снижение пылевыноса процесса

7. Возможность переработки большего объема холодных оборотов
8. Стабилизация тепловой работы конвертера
9. Повышение металлизации в штейне

Список литературы:

1. Барсуков Н.М., Король Ю.А., Русаков М.Р., Гальнбек А.А., Пашковский А.А., Пронин А.Ф. Переработка никелевых штейнов в горизонтальных конвертерах с фурмами в защитной оболочке. Цветные металлы, 1992, №3, pp.12-13
2. Король Ю.А., Набойченко С.С., Гуляев С.В. Практика применения фурм в защитной оболочке при конвертировании. Цветные металлы, 2018, №6, pp.14-20.
3. Недвецкий Е.П., Хомченков Б.М., Арефьев К.М., Цемехман Л.Ш. Некоторые закономерности работы кислородных фурм с защитной азотной оболочкой. – Сб. "Новые направления в пирометаллургии никеля", вып.№8. (72). Л.: Гипроникель.1980. С. 49-56.
4. Гальнбек А.А., Барсуков Н.М., Русаков М.Р., Ежов Е.И., Недвецкий Е.П. Особенности продувки жидкости фурмой с защитной оболочкой (ФЗО) – науч.тр. Автогенные и автоклавные процессы в медно-никелевом производстве. Л.: Гипроникель. 1987. С. 57-62.
5. Румянцев Д.В., Крупнов Л.В., Старых Р.В., Марчук Р.А., Фомичев В.Б.. Применение оболочковых фурм на горизонтальных конвертерах пирса-смита Надеждинского металлургического завода, ООО «Институт Гипроникель», г. Санкт-Петербург, Россия, ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель», Норильск, Россия.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Л.В. Крупнов

АФЛОТОНОВА И.А.

Санкт-Петербургский горный университет

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ
РАЗРУШЕНИИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ**

AFLOTONOVA I.A.

Saint Petersburg Mining University

**RESEARCH OF PHYSICAL AND MECHANICAL PARAMETERS DURING THE
DESTRUCTION OF MINERAL RAW MATERIALS**

Переработка минерального сырья осуществляется с использованием многостадийных схем, включая процессы рудоподготовки и обогащения. Соответственно, процессы разрушения оказывают значительное влияние на эффективность последующих процессов обогащения и на качество получаемого продукта [4].

Эффективность процессов дезинтеграции во многом зависит от свойств и параметров поступающего минерального сырья. По большей части, на обогатительные фабрики поступает «бедный» рудный материал по полезному компоненту (чаще всего это тонковкрапленная руда), следовательно, чтобы в полной мере раскрыть сростки

минералов необходимо комплексно изучить минеральное сырье. Без данного исследования многие современные фабрики сталкиваются с проблемой выхода на проектные технологические показатели. Это вызвано невысокой степенью раскрытия сростков или переизмельчением, что приводит к снижению технико-экономических показателей [1].

Основой для расчета и выбора схемы рудоподготовки, а также оборудования являются данные о физико-механических свойствах поступающего минерального сырья. Для их исследования существует две группы методов – разрушающие и неразрушающие. Первая группа методов является широко известной и часто применяемой, это связано с высокой точностью, достоверностью и надежностью получаемых данных. К данной категории относятся тесты Бонда по определению индексов стержневого и шарового измельчения, абразивности и ударного дробления, а также определение параметров разрушения при проведении теста падающего груза по методикам JKTech Pty Ltd – Drop Weight Test (DWT) и SMC Testing Pty Ltd – SMC Test (SMC); определение индекса прочности методом сосредоточенной точечной нагрузки (PLT – Point Load Test) и т. д. [1]

Неразрушающие методы не так широко применяются, но они имеют ряд преимуществ, которые способствуют популяризации данной категории. В первую очередь, это связано с сохранностью исследуемых образцов, в ходе проведения опытов целостность проб не нарушается, при исследовании особо ценных материалов или тех, что предоставлены на изучение в небольшом количестве, это имеет неоспоримую важность и исключительность. Также данная категория не требует лишних вычислений, все полученные данные представляются на экране прибора, что облегчает работу и уменьшает время, требуемое для обработки данных. К данной категории относится ультразвуковой метод, который использовался в практической части при изучении физико-механических свойств. Данный метод неэнергоемкий, что является неоспоримым преимуществом перед другими методами, и позволяет провести полную дефектоскопию испытуемых образцов, благодаря чему можно полностью изучить все имеющиеся дефекты и пустоты с целью оценки состояния и строения минерального сырья [3].

Основная задача на сегодняшний момент – сокращение времени и энергии, которые затрачиваются на исследование поступающего рудного материала, с целью оптимизации процессов разрушения и раскрытия сростков на рудоподготовительном переделе. Изложенные выше потребности в полной мере обосновывают актуальность ультразвукового метода в настоящее время [1].

В данном исследовании методом ультразвукового прозвучивания рудного материала были получены прочностные параметры, звуковой индекс, а также модуль упругости; проведена дефектоскопия целостных и раздробленных кусков. Исследуемым материалом для проведения опытов являлись образцы золотосодержащей и полиметаллической руд. Так как горные породы представляют собой комплекс различных минералов, от наличия и соотношения которых главным образом и зависят прочностные, физико-механические параметры, отдельно были изучены мономинералы, такие как кварц, сильвин, флюорит, гематит, галенит и др.

Для исследования весь рудный материал был поделен на две части, на первой проводился анализ прочностных свойств с помощью прозвучивания и тестирование на одноосное сжатие и изгиб, вторая группа образцов была направлена на дефектоскопию в целостном состоянии и после разрушения в дробильном агрегате.

В ходе ультразвукового прозвучивания были зафиксированы высокие прочностные характеристики образцов рудного материала, среднее значение составило 58 Н/мм^2 при размере кернов 20×30 мм. Далее керны полиметаллической руды подлежали тестированию на одноосное сжатие и изгиб для фиксации нагрузки, превышающей их предел прочности. Стоит отметить, что образцы были без видимых дефектов в виде трещин и сколов, с мелковкрапленной структурой. В результате данного эксперимента, было отмечено, что в соответствии с ранее проведенным ультразвуковым исследованием, требовалась достаточно большая по величине усилие для образования трещин, протяженность которых превышает размеры структурных компонентов материалов и зон самоуравновешенных напряжений, по поверхностях которых и происходило разрушение керна на части [5].

В соответствии с вышеизложенным, можно сделать вывод, что данные, полученные ультразвуковым прозвучиванием, подтверждаются лабораторным тестированием рудного материала на одноосное сжатие и изгиб, что говорит о точности и достоверности неразрушающего метода.

Вторая группа рудного кускового материала была исследована ультразвуком до разрушения в дробильном оборудовании и после соответственно, одновременно с прозвучиванием проводилась дефектоскопия, которая фиксировала дефекты в виде трещин, которые при приложенной нагрузке росли по зоне срастания зерен и переходили в магистральную, что приводило к окончательному разрушению образцов [2].

Методом ультразвукового прозвучивания был исследован дробленый рудный материал с целью определения модуля упругости, среднее значение которого составило примерно 61 ГПа , что говорит и высокой прочностной характеристике полиметаллической руды и сопротивляемости ее к нагрузке, которая прикладывалась со стороны измельчающего оборудования. Стоит отметить, что куски имели характерную, достаточно неправильную форму, поэтому измерение проводилось в разных местах, чтобы всецело можно было оценить внутреннее состояние испытуемых образцов [5].

Следующий этап работы был направлен на изучение и анализ прочностных характеристик рудного материала и мономинералов, которые являются составляющими компонентами большого количества горных пород, а соответственно влияют в большей степени на прочностные характеристики различных видов руд, на нагрузку, которую необходимо приложить для разрушения, а также на энергоемкость самого процесса. Исследуемыми образцами являлись керны полиметаллической руды [1].

По результатам данного эксперимента прочностные параметры чистых минералов во многом превосходят прочностные характеристики самих рудных образцов. Это объясняется взаимосвязью минералов в минеральном сырье, структурой, текстурой, химической связью. Наибольшее значение прочности было зафиксировано у образца кварца, примерно 76 Н/мм^2 , размером $120 \times 100 \times 80$ мм, наименьшее значение было отмечено у флюорита ($7,6 \text{ Н/мм}^2$, $80 \times 100 \times 45$ мм).

Полученные данные позволяют сделать ряд выводов. Так для образцов, которые содержат в своем составе большое количество силикатов, кварца, необходимо приложить значительную по величине нагрузку, чтобы произошло разрушение, стоит также отметить, что большое значение для прочностных параметров рудного материала имеют текстура и структура, чем мельче зерна и больше слоистость (относительно точки разрушения), тем прочнее сырье, а значит энергоемкость процесса измельчения

будет намного выше, чем у материала с иными текстурными и структурными характеристиками [3].

Данное исследование позволило качественно и в полной мере проанализировать физико-механические параметры, как рудного сырья, так и мономинералов, а также провести полную дефектоскопию кускового материала до разрушения и после соответственно. Полученные результаты позволяют говорить о точности, достоверности ультразвукового метода. С использованием данной методики можно эффективно изучить и анализировать различные свойства в короткое время и без нарушения целостности сырья [4].

Список литературы:

1. Хапунов Э.А. Роль факторов нагружения в формировании селективного разрушения руд //Обогащение руд, - М.: Издательство «Руда и Металлы», 2011. – 52 с.
2. Чернышов С.Н. Трещины горных пород. – М.: Наука, 1983. – 290 с.
3. Протасов Ю. И. Разрушение горных пород. 3-е изд.- М.: Изд-во МГГУ, 2002. – 361 с.
4. Федотов П. К. Межчастичное разрушение руды. – М.: ООО «Геоинформмарк», 2011. – 53 с.
5. Дашко, Р.Э. Механика горных пород / Р. Э. Дашко. - М.: Недра, 2015. - 264 с.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Н.В. Николаева

БАЗАРОВА Е.А., МИТРОФАНОВА Г.В.
Горный институт Кольского научного центра РАН

**ИЗУЧЕНИЕ КОМПЛЕКСООБРАЗУЮЩИХ СВОЙСТВ АЗОТИСТЫХ
МОНОПРОИЗВОДНЫХ ДИКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ ПО ОТНОШЕНИЮ К
МЕДЬ- И НИКЕЛЬСОДЕРЖАЩИМ МИНЕРАЛАМ**

BAZAROVA E.A., MITROFANOVA G.V.
Mining Institute of the Kola Science Centre RAS

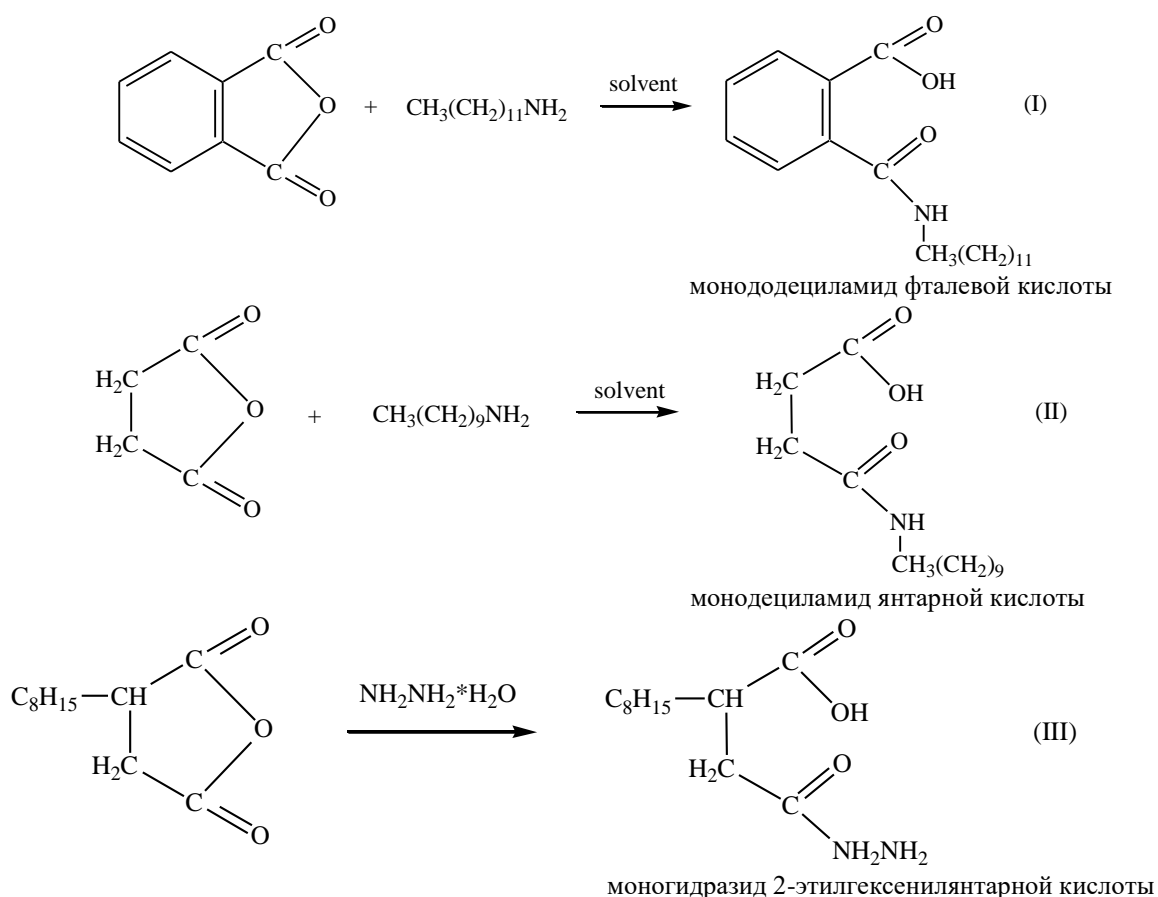
**COMPLEXING PROPERTIES STUDY OF DICARBOXYLIC ACIDS
NITROGENOUS MONODERIVATIVES IN RELATION TO COPPER- AND
NICKEL-CONTAINING MINERALS**

В технологии переработки медно-никелевых руд флотационный процесс играет ведущую роль. Однако естественное истощение сырьевой базы обуславливает необходимость вовлечения в переработку руд более бедных, тонковкрапленных и переменного минерального состава. Традиционные реагентные режимы оказываются недостаточно эффективными при обогащении такого вида сырья, что предопределяет необходимость поиска новых технологических решений и расширения ассортимента применяемых флотационных реагентов.

В последнее время область химии флотационных реагентов активно развивается и получение оптимальных технологических показателей обогащения сульфидных руд стало возможным путем использования комплексообразующих реагентов, способных

образовывать прочные соединения с ионами переходных металлов. Органические соединения с азотсодержащими функциональными группировками образуют устойчивые комплексы с ионами таких металлов, что создаёт предпосылки для применения этих реагентов в экстракционных и флотационных процессах [1], а введение в молекулу реагента второй функциональной группировки может обеспечить повышение эффективности флотационного процесса за счет дополнительного специфического взаимодействия с поверхностью минерала [2].

В настоящей работе изучены комплексообразующие свойства двух классов азотсодержащих соединений с гидразидной и амидной функциональными группировками. В процессе исследования были получены бифункциональные соединения, представляющие собой азотсодержащие монопроизводные дикарбоновых кислот: монододецил-амид фталевой кислоты (C_{12} -ФК) (I), монодециламид янтарной кислоты (C_{10} -ЯК) (II) и моногидразид 2-этилгексенилянтарной кислоты (SLR-2) (III). Высокая реакционная способность ангидридного кольца дикарбоновых кислот обеспечивает легкость проведения синтеза действием соответствующего амина и гидразин-гидрата на ангидрид:



Оценку комплексообразования исследуемых соединений с ионами меди и никеля проводили методом ИК-спектроскопии и экстракционным методом. Образование комплекса гидразида алкенилянтарной кислоты с ионами меди и никеля подтверждено сдвигом полос валентных и деформационных колебаний функциональных групп реагента [3].

Образование комплексных соединений меди и никеля с моноамидами фталевой и янтарной кислот оценивали экстракционным методом. Экстракцию проводили растворенным в хлороформе реагентом из водных растворов сульфата меди и хлорида никеля в кислой и щелочной области: рН = 4-5,5 и рН = 8-10. Экстракцию вели при постоянном перемешивании в течение 12 часов. Переход ионов металлов в органическую фазу качественно определяли по изменению окраски водного и органического слоя и подтверждали результатами химического анализа.

При естественном значении рН водных растворов солей металлов ионы металлов не перешли в органическую фазу, следовательно, образование комплексов не произошло. Однако при значениях рН водной фазы 8-10, близких к принятым при флотации медно-никелевых руд условиям [4], и смешивании с органической фазой практически сразу визуально наблюдали переход ионов металлов в органический слой, что дает основание рассматривать этот переход как образование комплексных соединений.

Оценку комплексообразующих свойств синтезированных реагентов на поверхности сульфидных минералов проводили методом беспенной флотации в трубке Халимонда на образцах обогащенной пентландитом и пирротинном (МН-1) и халькопиритом (МН-2) медно-никелевой руды крупностью минус 0,09 + 0,063 мм. Химический анализ проб приведен в табл. 1.

Таблица 1

Образец руды	Содержание, %				Соотношение Ni/Cu
	Cu	Ni	Fe	S	
МН-1	1,4	5,81	52,64	34,62	1/4,15
МН-2	16,95	3,66	41,55	31,52	4,63/1

Навеску руды 0,5 г агитировали с регулятором среды рН (0,1 %-й раствор NaOH) 1 мин, затем 2 мин с собирателем. Время флотации составляло 3 мин при температуре 20 ± 1 °С. Скорость подачи воздуха — $5,3 \text{ см}^3/\text{мин}$. Флотацию исследуемыми соединениями проводили при рН ≈ 10 .

Использование руды, обогащенной разными минералами, позволило приблизить эксперимент к реальным условиям флотационного процесса с взаимным влиянием минералов друг на друга. Действие исследуемых реагентов сравнивали с традиционным собирателем ксантогенатом (Кх) по показателям извлечения меди и никеля в «пенный продукт». Полученные концентрационные зависимости представлены на рисунках 1,2.

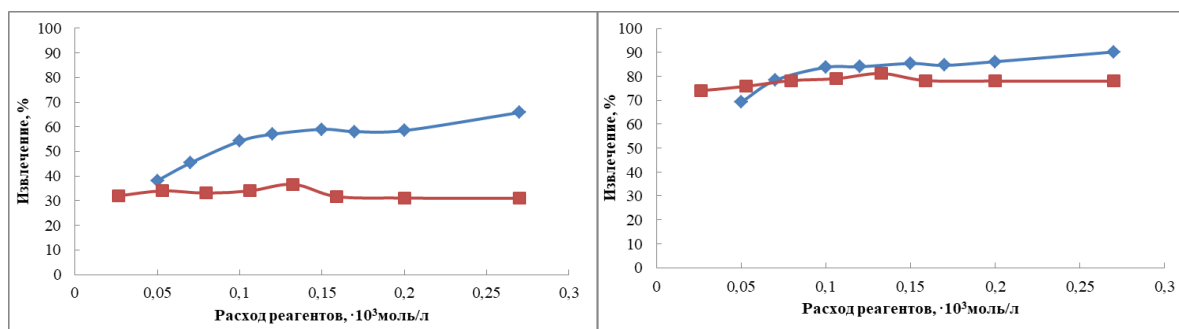


Рисунок 1. Извлечение в «пенный продукт» никеля (а) и меди (б) при флотации в трубке Халимонда руды, обогащенной халькопиритом, реагентами: 1 – SLR-2, 2 – Кх

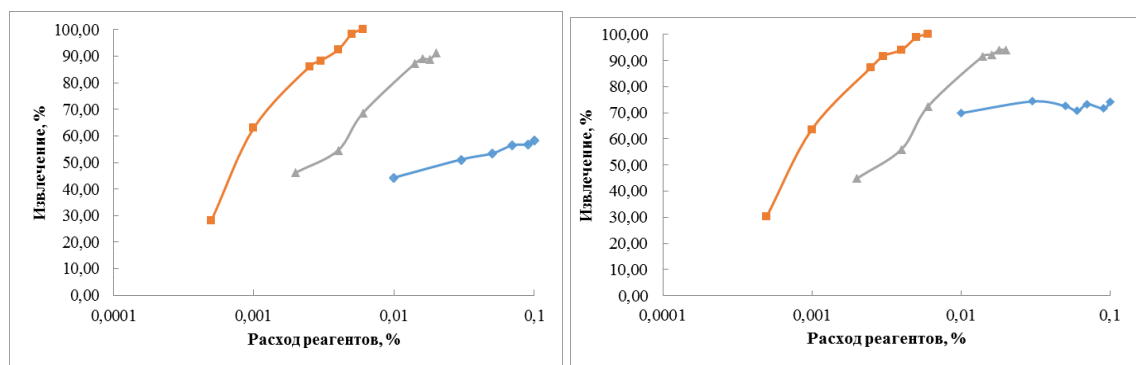


Рисунок 2. Извлечение в «пенный» продукт никеля (а) и меди (б) при флотации в трубке Халимонда руды, обогащенной пентландитом и пирротинном, реагентами: 1 – Кх, 2 – С10-ЯК, 3 – С12-ФК

Полученные результаты показывают, что все исследуемые реагенты обладают выраженным гидрофобизирующим действием по отношению к медь- и никельсодержащим минералам, ксантогенат в этом отношении уступает при флотации из обоих типов руды. Сравнимые показатели извлечения меди при флотации с использованием SLR-2 и ксантогената можно объяснить тем, что халькопирит обладает естественной гидрофобностью и в условиях реального флотационного процесса флотируется в первую очередь (рис.1). Также стоит отметить, что при использовании С₁₀-ЯК и С₁₂-ФК кривые извлечения меди и никеля практически совпадают при флотации из обогащенной пентландитом и пирротинном руды (рис.2).

Таким образом, данные азотсодержащие бифункциональные соединения из класса гидразидов и амидов могут быть использованы в качестве реагентов-собирателей для флотации сульфидных руд и экстракции ионов переходных металлов.

Заявленный вклад авторов:

Митрофанова Г.В. – научное руководство исследованием, формулировка научных гипотез, проверяемых посредством модельных экспериментов.

Базарова Е.А. – проведение экспериментов, обработка, анализ и обсуждение полученных результатов.

Список литературы:

1. Тимошенко Л. И., Чеканова Л. Г., Маркосян С. М. Реагенты класса гидразидов для флотационного обогащения вкрапленных медно-никелевых руд // Химическая технология. – 2014. Т. 15. - № 8. – С. 488–492.
2. Шубов, Л.Я., Иванков, С.И. Запатентованные флотационные реагенты: справочное пособие / Л.Я. Шубов, С.И. Иванков. – М: Недра, 1992. – 362 с.
3. Базарова Е.А., Митрофанова Г.В. Исследование комплексообразующих свойств монопроизводных алкенилянтарной кислоты с ионами меди (II) и никеля (II) // Научно-практические проблемы в области химии и химических технологий, 22-24 апреля 2020 г. - Апатиты: Труды Кольского научного центра РАН, 2020.
4. Черноусенко Е.В., Митрофанова Г.В., Каменева Ю.С., Вишнякова И.Н. Оценка действия комплексообразующих реагентов при флотации медно-никелевых руд // Цветные металлы. – 2019. - №1. – С.7-12.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Г.В. Митрофанова

БОРОДИН А.Д.
Заполярный государственный университет имени Н.М. Федоровского

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГРАФИТА В КАЧЕСТВЕ
ПРОТИВОПРИГАРНОГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ РАЗЛИВКИ АНОДНОЙ МЕДИ В
МЕДНЫЕ ИЗЛОЖНИЦЫ**

BORODIN A.D.
N.M. Fedorovsky Polar State University

**DETERMINATION OF THE POSSIBILITY OF APPLYING GRAPHITE AS A
MOULD WASH FOR CASTING ANODIC COPPER INTO COPPER MOULDS**

Работа посвящена разработке рецептуры противопригарного покрытия на основе кристаллического графита для защиты медных изложниц в технологии огневого рафинирования анодной меди.

Актуальность исследования

По действующей технологии производства меди на Медном заводе (МЗ) ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» предполагается разливка анодной меди в медные изложницы, охлаждение расплава и извлечение анодов из изложниц в ванны-накопители. Существует проблема, находящая отражение в последующей технологии электролитического рафинирования анодной меди – загрязнение шламов остатками противопригарных покрытий на основе шамотного мертеля следующего состава, %: 50,5 SiO₂; 37,2 Al₂O₃; 0,39 CaO; 1,41 Fe_{общ.} Данные компоненты не задействованы в получении готовой продукции компании.

Методы исследования

В проведении работы нашли применение следующие методы исследования:

- анализ технологий разливки анодной меди в медные изложницы, электролитического рафинирования анодной меди и процессов переработки медного шлама с получением концентратов металлов платиновой группы;
- проведение химического анализа медных шламов и отсечённого электролита на наличие посторонних компонентов;
- классифицирование противопригарных покрытий по химическому составу, применяемых для процессов отливки цветных и чёрных металлов;
- проведение лабораторного эксперимента с целью предварительного опробования технологических решений, применимых в промышленных условиях

Основная часть

Большинство огнеупорных веществ в порошкообразном состоянии имеют в своём составе тугоплавкие компоненты, находящие применение в процессах отливки металлов в формы. Большинство отливок подвергаются механической обработке, позволяя очистить поверхность металла от данных компонентов, однако в случае производства меди электролитным способом важно не допускать попадание таких компонентов в электролит с целью исключения образования дендритов на катодной меди и пассивации анодов в первоначальный момент после загрузки анодов в ванны.

Одним из веществ, потенциально способных к удалению на этапах очистки анодов без введения трудоёмких процессов анодоподготовки, стал кристаллический графит, помимо этого являющийся восстановителем меди.

Поскольку графит в чистом виде имеет слабую адгезию по отношению к поверхности металла, был найден способ повышения его адгезивной способности – смешивание графита с 10-% раствором поливинилового спирта (ПВС).

Перед промышленным применением осуществляли лабораторные исследования. Сухой ПВС смешивали с технической водой до получения раствора спирта необходимой концентрации и добавляли графит. Полученный состав имел следующий состав: 10 г — ПВС, 50 г – графит, 90 г – вода. На поверхность предварительно отлитой и отфрезерованной пластины, близкой по составу к анодной меди, наносили и высушивали суспензию покрытия. При этом отмечено появление запаха спирта в процессе сушки. Затем проводили разливку меди при температуре 1100-1300 °С. Изложница с отлитым слитком охлаждались естественным путём до температуры 500 °С, в качестве контроля температуры использовали термпары, установленные в изложницу. После охлаждения извлекали медный слиток из формы и очищали поверхность от остатков графита. Данные операции прошли без затруднений.

На основе лабораторных исследований проводили опытно-промышленные испытания в плавильном цехе Медного завода. Предварительно нагретую изложницу окрашивали кистью опытным экспериментальным составом с последующим удалением влаги. После разливки меди на изложнице произошел пригар анода. Извлечение анода не представлялось возможным, что привело к порче изложницы.

Было принято решение о корректировке состава опытного покрытия – замене части покрытия шамотным мертелем. Полученное покрытие имело в составе примесные компоненты в следующем количестве, %: 41,79 SiO₂; 24,24 Al₂O₃; 1,21 CaO; 3,62 Fe_{общ}. После корректировки состава производили отливку анодной меди в остальные изложницы в течение двух опытных плавок. Всего получили 1088 анодов, остальные аноды получали при использовании контрольного (используемого на сегодняшний день) покрытия ввиду высокого процента выхода брака и порчи изложниц. Бракованные аноды имели множество дефектов – искривление полотна, шишки, вздутия, заплески, а также зоны обильного газовыделения.

Выводы

1. Лабораторные тестирования покрытия на основе графита со связующим – поливиниловым спиртом, показало высокую эффективность при получении слитков малого размера, очистка слитка от остатков покрытия не вызывало затруднений.

2. При предварительном тестировании температуре разливки меди (1100-1120 °С) происходит активное выгорание спирта, в результате чего покрытие состояло из чистого, приводя к пригару анодной меди к изложнице;

3. Снижение количества связующего компонента – глинозёма – также приводит к ухудшению связки частиц покрытия между собой и изложницей, в отличие от контрольного покрытия, что было выражено в наличии остатков покрытия на изложницах и появлению большого процента брака;

4. Покрытие на основе графита с данным составом не было рекомендовано к внедрению для производства анодной меди;

5. Проблема получения анодов с остатками покрытий остаётся актуальной, в связи с чем исследования по корректировке состава покрытий продолжаются и в настоящий момент.

Список литературы:

1. Озеров С.С., Портов А.Б., Цымбулов Л.Б., Машьянов А.К. Оценка эффективности использования поливиниловых спиртов в качестве связующего при брикетировании флотационного медно-никелевого концентрата. // Цветные металлы, 2016. – № 8. – С. 39-45.
2. Гильманшина Т.Р., Амельченко В.Н., Борисюк В.А., Подшибякина Е.Ю. Использование активированных с поверхностно-активными веществами графитов в качестве наполнителя противопопригарных покрытий // Современные технологии в машиностроении и литейном производстве : Материалы III Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. И. Е. Илларионова. – Чебоксары : Чуваш. гос. ун-т, 2017. – С. 33–36.
3. Исследование свойств противопопригарных самосохнувших покрытий на основе графитов месторождений Красноярского края / Гильманшина Т.Р., Ковалева А.А., Фомин П.А. // Новая наука: техника и технологии. 2017. № 2. С. 41-43
4. Бородин А. Д., Малахов П. В., Оруджов В. Г., Чипиляга С. И. Исследования новых составов противопопригарных покрытий для улучшения качества медных анодов // Цветные металлы, 2022. – № 2. – DOI: 10.17580/tsm.2022.02.06

Научный руководитель: к.т.н., доцент Л.В. Крупнов

WAN DAN

Китайский университет горного дела и технологий

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ МЕЗОМАСШТАБНОЙ СТРУКТУРЫ В ГАЗОТВЕРДОМ ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ УГЛЯ СУХИМ ПСЕВДООЖИЖЕНИЕМ В КИТАЕ

WANG DAN

China University of Mining and Technology

AN OVERVIEW ON MESOSCALE STRUCTURE RESEARCH IN GAS-SOLID FLUIDIZED BED FOR COAL DRY FLUIDIZATION SEPARATION IN CHINA

The clean, efficient and low-carbon emission utilization of coal resources is of great significance to the realization of the " Carbon peaking and carbon neutrality " goal. Dry separation in air-dense medium fluidized bed is an important part of coal separation and processing, which promotes efficient and clean utilization of coal resources.

Air dense medium fluidized bed is a gas-solid two-phase flow system. The existence of bubbles determines that the gas-solid separation fluidized bed is a multi-scale, nonlinear transient system, which manifests as the formation, coalescence and breakup of bubbles on the mesoscale. Therefore, to carry out mesoscale structure research is benefit to understand the evolution principle of bubble behavior, which is of great significance to realize the steady-state control of coal separation. In recent years, our team has been committed to in-depth research on the dry separation behavior of gas-solid fluidizedbeds

with mesoscale structure. The main research methods included image capture and processing, electrical capacitance tomography (ECT), etc.

Aiming at the mesoscale structure of the unit equipment, the test technology and algorithm for bubble identification are developed successively. The numerical model that can be used to predict the bubble movement behavior is established by combining numerical simulation and experimental research.

Aiming at the mesoscale structure in the process of industrial system amplification, the coarse-grained simulation scheme is proposed, which is suitable for dry separation fluidization. The weight function interpolation algorithm is added to establish the EMMS-DPM-DEM multi-scale calculation model. The numerical simulation of industrial separation fluidized bed is realized.

Aiming at the regulation of mesoscale structure, thorough researches are carried out from the aspects of introducing external energy (vibration and pulsation energy) and optimizing the dense medium (Geldart A magnetite powder + Geldart C ultrafine coal powder).

On the basis of the above research, this paper sorts out the key problems at two levels in the process of unit separation equipment and amplification with the mesoscale structure, which lays a theoretical foundation for the subsequent amplification and integration of industrial systems.

Main Figures:

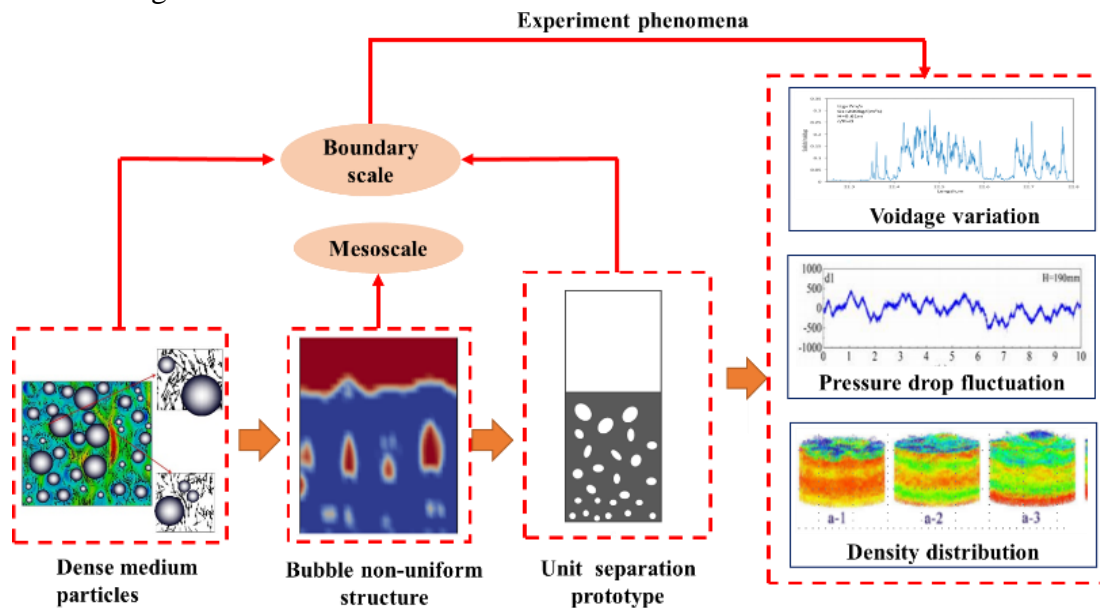


Figure 1. Schematic diagram of description between particles and unit equipment in mesoscale structure

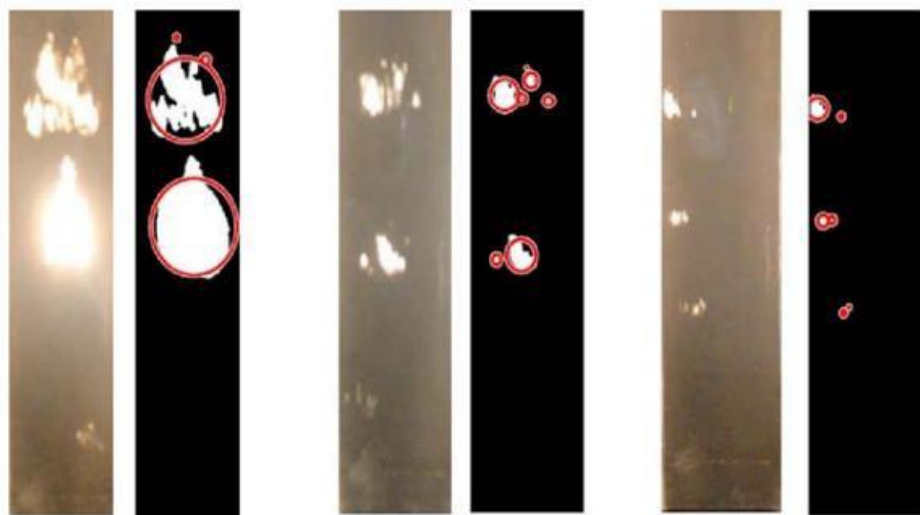


Figure 2. Schematic diagram of bubble capture in two-dimension fluidized bed with mesoscale structure

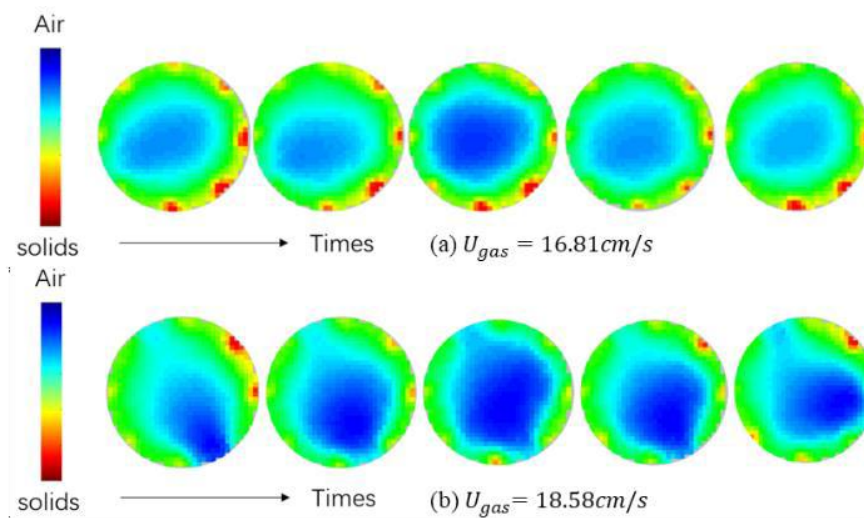


Figure 3. Schematic diagram of bubble identification by ECT

List of references:

1. Zhou C Y, Jia Y, Zhao Y M, et al. Process intensification of dry fluidization beneficiation using dense medium from mesoscale perspective[J]. CIESC Journal, DOI: 10.11949/0438- 1157.20220072.
2. Liu X B, Fan X C, Zhao Y M, et al. Particles movement behavior and apparent density in gas-solid fluidized bed as determined by an electronic dynamometer and electrical capacitance tomography [J]. Chemical Engineering Journal, 2022,429: 132463.
3. Zhang Y. Numerical study of the segregation and mixing of polydisperse particles in gas-solid separating fluidized beds[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2019.
4. Dong L, Zhou E H, Peng L P, et al. Analysis of interaction between bubbles and particles in a dense gas-vibro fluidized bed[J]. Chemical Engineering Science, 2017, 161: 265-273.

Supervisor of studies: professor Chenlong Duan, Dr. Chenyang Zhou

ДЖУМИЕВА А.С.

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

**НЕСТАЦИОНАРНОЕ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ И СВОЙСТВА
КОМПОЗИЦИОННЫХ
ПОКРЫТИЙ НИКЕЛЬ-ОКСИД ГРАФЕНА**

DZHUMIEVA A.S.

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

**NON-STATIONARY ELECTRODEPOSITION AND PROPERTIES OF COMPOSITE
NICKEL-GRAPHENE OXIDE COATINGS**

В работе показывается положительное влияние дисперсной добавки оксид графена в составе электролита никелирования и использование импульсного (нестационарного) режима электролиза на физико-механические и коррозионные свойства никелевых покрытий.

Композиционные электрохимические покрытия (КЭП) формируются при совместном осаждении металлов с дисперсными частицами из электролитов-суспензий. Наибольшее распространение среди КЭП получили покрытия с никелевой матрицей, характеризующиеся твердостью, устойчивостью в разных коррозионных средах и хорошей внешней формой.

Характер изменения структуры и свойств КЭП во многом определяется природой дисперсной фазы. В настоящее время значительное внимание ученых сосредоточено на исследовании композиционных покрытий, модифицированных различными углеродными материалами: наноалмазы, углеродные нанотрубки, фуллерены, карбиды металлов и др. Среди углеродных соединений выделяются графит и его производные. Характерной особенностью графита является слоистая структура, в которой каждый атом С связан с тремя другими атомами углерода. Слои графита (графены) расположены таким образом, что половина атомов одного слоя находится под центрами шестигранников другого, а вторая половина – друг под другом. Вследствие подобной структуры графит может выступать донором электронов в реакциях с различными окислителями. В частности, при взаимодействии графита с сильными неорганическими кислотами формируется оксид графена (ОГ), в структуре которого графеновые слои, химически связаны с кислородсодержащими функциональными группами (гидроксильными, эпоксидными, карбонильными и др.) [1-4].

Цель настоящей работы – получить в импульсном режиме электролиза КЭП никель–ОГ, исследовать их структуру, физико-механические и коррозионные свойства. Преимущество нестационарного, в частности, импульсного электролиза заключается в большем количестве параметров, контролирующих процесс осаждения покрытий.

Композиционные покрытия никель–ОГ осаждали на стальную основу (сталь 45) из сульфатно-хлоридного электролита.

Исследовалось осаждение покрытий на основе никеля в импульсном режиме электролиза при плотностях катодного тока $7 \div 10 \text{ А/дм}^2$. Соотношение периодов импульса ($t_{\text{имп}}$) и паузы ($t_{\text{п}}$) составляло $1 : 0.1 \text{ с}$.

Многослойный оксид графена синтезировали электрохимическим способом в гальваностатическом режиме путем анодного окисления порошка природного графита GB/T 3518-95 (Китай) при сообщении ёмкости 700 А·ч/кг. Электролитом служила 83% H₂SO₄ (о.с.ч.).

С никелем электрохимически могут легко соосаждаться дисперсные частицы разной природы, но их применение дает различный эффект. Введение дисперсии оксида графена в состав сульфатно-хлоридного электролита никелирования оказывает заметное влияние на кинетику электродных процессов. На E, t – кривых наблюдается смещение потенциалов в сторону более положительных значений при переходе от никеля без дисперсной фазы к КЭП никель–ОГ. Одновременно имеет место некоторое уменьшение скачков потенциала на кривых, полученных при осаждении композиционного покрытия.

Исследование оксида графена методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) позволило установить, что он обладает слоистой структурой с развитой поверхностью. Удельная площадь поверхности ОГ, определенная по методу Brunauer-Emmett-Teller (BET), составляет 46.78 м²/г. На оксиде графена может происходить адсорбция катионов из раствора электролита, что приводит к формированию положительного заряда частиц дисперсной фазы. Поэтому перенос ОГ к катоду, вероятно, осуществляется не только вследствие конвекции, но и под действием электрофоретических сил. Адсорбированные ионы, предположительно, могут участвовать в «мостиковом» связывании дисперсной фазы с электродной поверхностью. Это связывание ослабляет расклинивающее давление жидкостной прослойки между частицами ОГ и катодом, усиливая адгезию.

По результатам исследования образца покрытия никель–ОГ методом РФА были выявлены пики, соответствующие фазам никеля и углерода, что является следствием включения частиц оксида графена в металлическую матрицу. Данный вывод подтверждается анализом СЭМ–изображений, на которых видно, что при переходе от никелевого осадка, не содержащего дисперсной фазы, к КЭП никель–ОГ меняется микротопография поверхности. Структура чистого никеля близка к рентгеноаморфной, тогда как композиционное покрытие обладает упорядоченной «сотовой» структурой. Очевидно, частицы оксида графена выступают в качестве центров кристаллизации и способствуют распределению металлического никеля по катодной поверхности. В результате формируются плотные и равномерные осадки КЭП никель–ОГ.

Включение дисперсной фазы в электрохимическое покрытие влечет изменение не только его состава и структуры, но также эксплуатационных свойств. Существенный интерес в практическом отношении представляют физико-механические характеристики металлических поверхностей, в частности, их микротвердость. С ростом катодной плотности тока происходит увеличение микротвердости никелевых покрытий. Вероятно, это обусловлено включением в их состав водорода и гидроксидов, что приводит к деформированию и сжатию кристаллов. Потому имеет место рост микротвердости приблизительно в 1.40 раза при переходе от чистых никелевых осадков к КЭП никель–ОГ в изученном интервале плотностей тока.

Другим важным эксплуатационным свойством электролитических осадков является коррозионная стойкость. Потенциодинамическим методом в 0,5 М растворе H₂SO₄ было исследовано коррозионно-электрохимическое поведение никелевых осадков. Из анодных потенциодинамических кривых (ПДК) никеля и КЭП никель–ОГ следует, что частицы дисперсной фазы повышают потенциал и уменьшают ток активного анодного растворения изученных покрытий. Характерной особенностью

анодной ПДК КЭП никель–ОГ является уширение пассивной области, в то время как для никелевого покрытия без дисперсной фазы она менее выражена. В дальней анодной области потенциалов частицы ОГ в объеме никелевой матрицы также оказывают влияние на ход ПДК (потенциалы перепассивации изученных покрытий различаются).

Испытания в 3,5% растворе NaCl показали, что скорость коррозии КЭП никель–ОГ уменьшается в 1,40 – 1,50 раза по сравнению с никелевыми осадками без дисперсной фазы. Влияние оксида графена на коррозионную стойкость никеля может быть обусловлено несколькими факторами. Из сульфатно-хлоридных электролитов никелирования формируются матовые пористые покрытия. Включение в металлическую матрицу частиц ОГ приводит к перекрытию пор. Кроме того, изученные КЭП имеют упорядоченную мелкокристаллическую структуру, в отличие от чистого никеля, что способствует равномерному распределению коррозионного тока по их поверхности. Также следует отметить, что при всех видах коррозии эффект влияния дисперсной фазы в композиционных покрытиях проявляется лишь в случае образования частицами на границах фаз или по всему объему соединений, более коррозионностойких, чем металлическая матрица. Иначе развитие коррозионного процесса не прекратится, а пойдет в обход частицы (возможно, с некоторым уменьшением скорости). Очевидно, в случае КЭП никель–ОГ происходит образование подобных соединений. Перечисленные факторы в совокупности обеспечивают возрастание коррозионной стойкости композиционных покрытий по сравнению с никелевыми осадками, не содержащими оксида графена.

На основании проведенных исследований можно заключить, что в импульсном режиме электролиза из сульфатно-хлоридного электролита никелирования, содержащего дисперсию оксида графена, формируются композиционные покрытия. Включение ОГ в состав никелевых осадков приводит к изменению микроструктуры их поверхности. Модифицирование электрохимического никеля дисперсной фазой ОГ приводит к росту микротвердости и уменьшению скорости коррозии покрытий.

Список литературы:

1. Low, C.T.J.; Wills, R.G.A.; Walsh, F.C. Electrodeposition of composite coatings containing nanoparticles in a metal deposit. *Surf. Coat. Technol.* 2006.V.201. P. 371–383;
2. Tseluikin, V.N. Composite electrochemical coatings: Preparation, structure, properties. *Prot. Metals Phys. Chem. Surf.* 2009. V.45. P. 312–326;
3. Целуйкин В.Н. Композиционные покрытия, модифицированные наночастицами: структура и свойства // *Российские нанотехнологии.* 2014. Т.9, №1-2. С. 25-35;
4. Антихович И.В., Черник А.А., Жарский И.М. Свойства композиционных никелевых покрытий, полученных из низкотемпературных тартратных электролитов // *Гальванотехника и обработка поверхности.* 2015. Т. 23, № 2. С.38-43.

Научный руководитель: д.т.н., профессор В.Н. Целуйкин

ЕЛИСЕЕВА Р.А.

Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС"

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОГО ОБОГАЩЕНИЯ
ТРУДНООБОГАТИМЫХ РУД ГОРНО-ХИМИЧЕСКОГО СЫРЬЯ С
ПРИМЕНЕНИЕМ КОЛОННЫХ ФЛОТАЦИОННЫХ МАШИН**

ELISEEVA R.A.

National University of Science and Technology MISiS

**THE DEVELOPMENT OF BENEFICIATION TECHNOLOGY FOR COMPLEX
MINERAL PROCESSING OF MINING AND CHEMICAL RAW MATERIALS WITH
THE USE OF COLUMN FLOTATION MACHINES**

Предлагается к рассмотрению технология комплексного обогащения труднообогатимых руд горно-химического сырья с применением колонных флотационных машин.

Актуальность исследования

Известно, что флотация является многофакторным процессом, происходящим в трехфазных потоках. Основной процесс разделения связан с закреплением гидрофобных частиц на поверхности пузырьков воздуха, а все другие сопутствующие subprocessы снижают его эффективность.

Как правило регулирование селективности процесса флотации происходит с помощью создания специальных реагентных режимов, а также их совершенствования для каждого типа сырья. Относительно малоизученным является возможность регулирования селективности гидродинамическими факторами флотационной переработки полезных ископаемых.

Существующие реагентные режимы не обеспечивают достаточной селективности разделения минералов с близкими флотационными свойствами. Теряется до 40% полезных компонентов при переработке сульфидных полиметаллических руд, руд горно-химического сырья и другого комплексного типа сырья.

Актуальность работы обусловлена важностью решения проблем комплексности и глубины разделения минералов оптимизацией гидродинамических режимов флотации, сравнением возможности применения фундаментальных методик вычислительного эксперимента и программ компьютерного моделирования с визуальной оценкой поведения потока и частиц внутри колонной флотомшины с целью решения исследовательских, технических и технологических задач обогащения полезных ископаемых, а также решением проблем импортозамещения на рынке горно-обогатительного оборудования Российской Федерации.

Цели и методы исследования

1. Математическое моделирование путем применения систем уравнения Навье-Стокса и уравнений движения жидкости Лагранжа.

2. Метод инициализации узких сепарационных фракций гетерогенной среды процесса флотации с целью выполнения модели потока в Ansys.

3. Гранулометрический, минералогический и фазовый анализ технологических проб питания флотации.

4. Лабораторные и вычислительные эксперименты по флотационному разделению минералов.

Основная часть

В работе приведен анализ конструктивных особенностей и принципа работы колонных флотационных машин одного типоразмера четырех различных производителей, опыт их эксплуатации, контроль и регулирование технологического процесса. Разработана методика выбора колонных флотационных машин, определены основные критерии выбора типа и конструкции колонных флотомашин. Приведена характеристика основных subprocessов при флотации в колонных флотационных машинах, кинетика флотации для трех потоков и нескольких subprocessов, а также рассмотрено влияние гидродинамических факторов на скорость и селективность флотации. Выполнена работа по моделированию процесса внутри колонной флотомашины путем применения фундаментальных систем уравнения и компьютерной модели процесса флотации в колонной флотомашины. Создан полупромышленный образец усовершенствованной колонной флотомашины и приведена исследовательская часть движения пузырька внутри колонны, с целью моделирования гидродинамических потоков внутри колонной флотомашины. Приведены результаты создания промышленной усовершенствованной колонной флотомашины и технологические показатели ее работы на основе проведенного сравнительного анализа.

Результаты и направления их использования

1. Разработанные математические, компьютерные и визуальные модели поведения гетерогенных сред внутри колонной флотомашины позволяют выполнить сравнительный анализ по приведенным моделям и могут применяться для формулировки условий однозначности в вычислительных экспериментах.

2. Создана полупромышленная установка колонной флотомашины, позволяющая отслеживать путь пузырька и частиц, и моделировать поведение гетерогенных сред внутри нее с целью дальнейшего усовершенствования флотоколонн и технологий обогащения полезных ископаемых, а также оценивать применение российских колонных флотомашин на предприятиях горно-обогатительной отрасли РФ.

3. Разработана и внедрена в эксплуатацию промышленная усовершенствованная колонная флотомашинка, производства НПО «СОМЭКС», с применением которой были достигнуты лучшие технологические показатели для переработки апатит-нефелиновых руд.

Выводы и вклад автора

Решение поставленных задач осуществлялось в лабораторных и промышленных условиях на базе оборудования компании НПО «СОМЭКС», под руководством Елисейевой Р.А.

Основные результаты работы:

1. Предложен метод прогнозирования технологических показателей флотации и исследования гидродинамики флотации на основе сравнения применения фундаментальных, компьютерных и визуальных моделей поведения гетерогенных сред внутри флотационной колонны.

2. Рассмотрены результаты промышленных сравнительных испытаний применения усовершенствованной колонной флотомашины, производства НПО

«СОМЭКС, в операции перечистой флотации апатита на ОФ ГОК «Олений ручей». Установлено, что применение колонной флотомашины КФМ обеспечивает наиболее высокие технологические показатели обогащения апатит-нефелиновых руд месторождения «Олений ручей». Исследования применения колонных флотационных машин производства НПО «СОМЭКС» продолжаются и направлены для включения их в цикл флотации различных типов руд.

Список литературы:

1. Gregory Harbort. Fluctuations in the popularity and usage of flotation columns – An overview // Minerals Engineering, January 2017, 100:17-30. DOI:10.1016/j.mineng.2016.09.025.
2. Лавриненко А.А. Состояние и тенденции развития флотационных машин для обогащения твердых полезных ископаемых в России. Цветные металлы, 2016. №11. С.19-26
3. G. Cheng, Yuxian Yu, Wencheng Xia. Energy feature of a multi-flow column flotation process // Physicochemical Problems of Mineral Processing, May 2017, 53(2):1264-1284. DOI:10.5277/ppmp170245.
4. Wang Lijun, Yongheng Wang, Xiaokang Yan, Ai Wang. A Numerical Study on Efficient Recovery of Fine-Grained Minerals with Vortex Generators in Pipe Flow Unit of a Cyclonic-Static Micro Bubble Flotation Column // Chemical Engineering Science, October 2017, 158. DOI:10.1016/j.ces.2016.10.037.
5. Canadian Process Technologies Inc. Column Flotation Cell. Operating and Maintenance Manual, 75 th Avenue Vancouver, B.C.Canada V6P 6G2, 2002.
6. BGRIMM Technology Group. Инструкция по монтажу колонной флотационной машины KYZ4680 в комплекте с диспергаторами и системой управления, 2018.
7. Metso Minerals Cisa. Руководство по установке и руководство по обслуживанию флотационной колонны Metso Minerals Cisa BP 6009, 45060 Orleans Cedex 2 France, 2011.
8. ООО «ИГ «Инфолайн». Обзор рынка флотационных установок для переработки минерального сырья в России. Москва, Август 2019. – 86 с.
9. Руководство по эксплуатации колонной флотационной машины ФПА-90СЧПУ (КФМ-90) СЭКП.02.182.00.00.000 РЭ, НПО «СОМЕКС», 2020.
10. Никитин А.Ю., Елисеева Р.А., Юшина Т.И., Калугин А.И. Опыт разработки и эксплуатации колонных флотационных машин НПО «СОМЭКС» для обогащения апатит-нефелиновых руд Хибинских месторождений. Горный журнал, 2021. №12. С. 37-43
11. G. Cheng, C. L. Shi, J. T. Liu, X. K. Yan. Bubble-Distribution Measurement in a Flotation Column // International Journal of Coal Preparation and Utilization, April 2016, 36(5):1-10. DOI:10.1080/19392699.2015.1111878.
12. G. Cheng, Yijun Cao, Chuanxiang Zhang, Zhendong Jiang. Application of novel flotation systems to fine coal cleaning // International Journal of Coal Preparation and Utilization, June 2018, 40(2):1-13. DOI:10.1080/19392699.2018.1476348.
13. Xiaokang Yan, Rui Shi, Yajun Xu. Bubble behaviors in a lab-scale cyclonic-static micro-bubble flotation column: Bubble Behaviors in a Lab-Scale Flotation Column // Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering, August 2016, 11 (6). DOI:10.1002/apj.2028.
14. Bauer M., Eigenberger G. Multiscale Modeling of Hydrodynamics, Mass Transfer and Reaction in Bubble Column Reactors // Chemical Engineering Science, 56. 2001. - P. 1067-1074.

15. Krasowska M. , Krzan M. , Malysa K. Bubble Collisions With Hydrophobic and Hydrophilic Surfaces in A-Terpineol Solution // Physicochemical Problems of Mineral Processing, 37. 2003. - P. 37-50.
16. Meloy T.P., Ferrara G., Preti U, Schena G. Locked Particle Standard Deviation for Two-Phase Systems // Powder Technology, 59. 1989. - P. 109-115.
17. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. 2-е изд., испр. – М.: Физматлит. 2001. – 320 с.
18. Нигматиулин Р.И. Динамика многофазных сред. Ч.1 – М.: Наука. Гл. ред. Физ. Мат. Лит. 1987. – 464 с.
19. Рахматулин Х.А. Основы газодинамики взаимопроникающих движений сжимаемых сред. // Прикладная математика и механика. 1956. Т.20, №2. – С. 184-195

Научный руководитель: к.т.н., заведующий кафедрой Т.И. Юшина

ЕРГЕШЕВ А.Р.

Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС"

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБОГАТИМОСТИ И СЕЛЕКТИВНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ТОНКОВКРАПЛЕННЫХ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ РУД

YERGESHEV A.R.

National University of Science and Technology MISiS

INVESTIGATION OF THE BENEFICIATION AND SELECTIVE SEPARATION OF FEINEINGESPRENGT LEAD-ZINC ORES

Предлагается к рассмотрению технология комплексного селективного обогащения труднообогатимых свинцово-цинковых руд с использованием при депрессии сфалерита заменителя цианида с получением аналогичных цианиду показателей.

Актуальность работы В связи с интенсивным развитием мировой промышленности и растущим спросом на цветные металлы все более актуальным становится вопрос об освоении упорных к обогащению полиметаллических руд. Необходимость в скорейшем решении таких задач, делает и то, что количество богатых и легкообогатимых месторождений сульфидных руд цветных металлов за последнее время резко сократилось, в том числе и свинцово-цинковых руд. Создается проблема обогащения тонко-вкрапленных высокоуглистых полиметаллических руд. В этой связи необходимо разрабатывать новые методы освоения месторождений свинцово-цинковых руд. Требуется комплексный подход к решению данной задачи, от современных методов анализа вещественного состава исходного сырья и продуктов обогащения до методов переработки с учетом комбинированных технологий обогащения. Важно максимально изучить сырье, необходимые условия для раскрытия зерен, минеральные ассоциации, гранулометрическую характеристику, распределение, комплексный минералогический анализ.

Цели и методы исследования

Изучение вещественного состава и технологических свойств свинцово-цинковых руд месторождения;

Оптические методы исследования образцов;

Электронно-микроскопические исследования с использованием автоматизированного минералогического комплекса MLA 650 (FEI Company) на базе электронного сканирующего микроскопа FEI Quanta 650 SEM;

Флотационные методы исследования;

Разработка технологической схемы обогащения с максимально возможными показателями извлечения и качества получаемых концентратов свинца и цинка.

Основная часть

Для исследовательских целей были отобраны проба руды крупностью $-30+0$ мм, с содержанием (Pb $-0,97\%$, Zn $-3,40\%$, $\text{SiO}_2 \approx 39,87\%$, S $\approx 4,30\%$) также в руде присутствуют невысокая доля пирита до $5,4\%$ и около 1% углистых веществ. Результат гранулометрического анализ проб показал, что материал распределяется одинаково, по классам крупности в разных пробах. Проведенный минералогический анализ показал, что свинец в руде представлен в виде галенита, а цинка в виде сфалерита и небольшой долей смитсонита. Раскрытие галенита и сфалерита прослеживается в классе крупности $-0,2+0$ мм. По данным о минеральных ассоциациях целевых минералов установлено, что сульфиды свинца и цинка связаны в основном с кварцем. Раскрытие основных ценных минералов увеличивается с понижением класса крупности, а максимальное раскрытие приходится на класс $-0,044+0$ мм.

Рудоподготовительные процессы проводили на щековой дробиле (Rocklabs) крупности $-1+0$ мм. Далее измельчали материал в шаровой мельнице до 87% класса $-0,074+0$ мм. Далее по схеме прямой селективной флотации с депрессией углистых веществ сфалерита и пирита в четыре стадии перечисток и циркуляцией хвостов, в результате которого получен свинцовый концентрат. В качестве депрессора сфалерита был опробован реагент, который активно используется в золотоизвлекательных фабриках и имеет схожий принцип действия с цианидом. Камерный продукт свинцовой флотации направлялся на основную цинковую флотацию, концентрат которого довели до 90% класса $-0,02$ мм и аналогично со свинцовой флотацией в 4 стадии перечисток с циркуляцией хвостов получали цинковый концентрат.

Результаты и направления их использования

- Свинцовый концентрат с содержанием Pb = $53,70\%$, при извлечении $\varepsilon = 60,90\%$ и выходе $\gamma = 1,10\%$, Zn = $5,59\%$ при извлечении $\varepsilon = 1,81\%$;
- Цинковый концентрат с содержанием Zn = $61,12\%$ при $\varepsilon = 81,43\%$ и $\gamma = 4,53\%$,
- Pb = $1,59\%$ при $\varepsilon = 7,43\%$;
- Разработана технологическая схема флотационного обогащения свинцово-цинковых руд с применением бесцианидной технологии флотации для получения высококачественных концентратов свинца и цинка с высокой долей извлечения для таких типов руд.

Выводы и вклад автора

Решение поставленных задач осуществлялось в лабораторных условиях на базе оборудования НИТУ МИСиС под руководством Ергешева А.Р.

Основные результаты работы:

Изучен вещественный состав полиметаллической свинцово-цинковой руды;

Предложена схема селективного флотационного обогащения;

Опробованы заменитель цианида для селективного разделения галенита и сфалерита.

Список литературы:

1. Sverdrup H. U., Olafsdottir A. H., Ragnarsdottir K. V. On the long-term sustainability of copper, zinc and lead supply, using a system dynamics model // *Resources, Conservation & Recycling*: X. – 2019. – Т. 4. – С. 100007.
2. Indian Minerals Yearbook. 2019. Part-II: Metals and alloys. 58th ed., 27. Indian Bureau of Mines. https://ibm.gov.in/writereaddata/files/10142020122001Lead_Zinc_2019_AR.pdf.
3. Changqing Z. et al. A preliminary review on the metallogeny of Pb-Zn deposits in China // *Acta Geologica Sinica-English Edition*. – 2015. – Т. 89. – №. 4. – С. 1333-1358.
4. Месторождения свинца и цинка // *Лекции*. Орг URL: <https://lektsii.org/6-4974.html> (дата обращения: 28.03.2022).
5. Mudd G. M., Jowitt S. M., Werner T. T. The world's lead-zinc mineral resources: scarcity, data, issues and opportunities // *Ore Geology Reviews*. – 2017. – Т. 80. – С. 1160-1190.
6. Alabi O. O. et al. Comparative test for the upgrading of lead in sabon layi lead-zinc ore (Alkali local government area, Bauchi state), using gravity and froth flotation beneficiation methods // *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science*. – 2016. – Т. 2. – №. 6. – С. 239511.
7. Oyelola A. O. et al. Extraction of a low grade zinc ore using gravity and froth flotation methods // *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*. – 2017. – Т. 20. – №. 4. – С. 903-908.
8. Önal G. et al. Flotation of Aladag oxide lead-zinc ores // *Minerals Engineering*. – 2005. – Т. 18. – №. 2. – С. 279-282.
9. Бочаров В.А. Технология обогащения полезных ископаемых: в 2 т. Т.1: Минеральное сырье металлов / В.А. Бочаров, В.А. Игнаткина. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2007. – 472 с.
10. Bulatovic S. Selection and evaluation of different depressants systems for flotation of complex sulphide ores / S. Bulatovic, D.M. Wyslouzil // *Minerals Engineering*. – 1995. – Vol. 8. Issues 1-2. – pp. 63-76.
11. Пахомова Г. А. Рациональное освоение недр // *Новая технология комплексной переработки труднообогатимых свинцово-цинковых руд*. 2015. № 5-6 (124). С. 60-66.

Научный руководитель: к.т.н., заведующий кафедрой Т.И. Юшина

ЗИНУРОВ В.Э., МОИСЕЕВА К.С.

Казанский государственный энергетический университет

**ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА В ЦЕНТРОБЕЖНОМ
КЛАССИФИКАТОРЕ С СООСНО РАСПОЛОЖЕННЫМИ ТРУБАМИ**

ZINUROV V.E., MOISEEVA K.S.

Kazan State Power Engineering University

**FRACTIONATION OF BULK MATERIAL IN A CENTRIFUGAL CLASSIFIER
WITH COAXIALLY ARRANGED PIPES**

Эффективная классификация частиц является одной из проблем в промышленности [1]. Классификация по размеру может выполняться различными типами оборудования в зависимости от того, измельчается ли порошок влажным или сухим [2]. Гидрофильность силикагеля не позволяет использовать мокрые методы. Известны методы сепарации сыпучих сред с помощью вибрационных сит и по электрическим различиям. Для сухого разделения сыпучих материалов используют установки аэродинамической сепарации с использованием гравитационных и инерционных эффектов. Среди классификаторов гравитационного типа устройства на основе псевдооживленного слоя обеспечивают стабильную работу и резкое разделение в диапазоне размеров 50-1000 мкм. Центробежные классификаторы могут эффективно удерживать частицы диаметром более 10 мкм, однако в данном случае частицы силикагеля, подлежащие удержанию, были довольно мелкими, свойства которых накладывали определенные ограничения в выборе циклона. Дополнительные ограничения возникли из-за низкой селективности, частичной потере продукта при рециркуляции и дополнительными энергозатратами. Выбор типа классификатора продиктован требованиями к продукции, в нашем случае, это сыпучий материал на основе силикагеля с граничным зерном, равным 30 - 40 мкм.

Авторами работы для решения поставленной проблемы был разработан мультивихревой классификатор - сепаратор с соосно расположенными трубами [3]. Модель классификатора представлена на рисунке 1.



Рисунок 1. Трехмерная модель центробежного классификатора с соосно расположенными трубами

При исследовании влияния конструктивных параметров на эффективность мультивихревого классификатора - сепаратора рассматривалось удаление конического перехода в нижней части внутренней трубы, соответственно, диаметр отверстия становился равным внутреннему диаметру трубы (рис. 1). При изменении технологических параметров варьировалась входная скорость газового от 2 до 16 м/с. Дисперсность частиц силикагеля изменялась от 5 до 100 мкм. Плотность частиц задавалась равной 1075 кг/м³.

Проведенные исследования показывают, что различное конструктивное оформление мультивихревого классификатора – сепаратора позволяет получать различные гранулометрические фракции частиц силикагеля. В меньшей степени на данный процесс влияет изменение входной скорости газового потока относительно варьирования конструктивных параметров. Вызвано это изменением структуры газового потока в межтрубном пространстве, которая изменяет структура газа в транспортных каналах.

При входной скорости газового потока равной 2, 4, 8 и 12 м/с максимальная эффективность пиков мультивихревого классификатора – сепаратора равна 41,8 ($a = 30$ мкм), 29,8 ($a = 25$ мкм), 32,9 ($a = 15$ мкм) и 14,7 % ($a = 10$ мкм) соответственно.

Работа выполнена при финансовой поддержке Стипендии Президента РФ СП-3577.2022.1.

Список литературы:

1. Зинуров, В.Э. Разработка классификатора с соосно расположенными трубами для разделения сыпучего материала на основе силикагеля / В. Э. Зинуров, И. Н. Мадышев, А. Р. Ивахненко, И. В. Петрова // Ползуновский вестник. – 2021. – № 2. – С. 205-211.
2. Zinurov, V.E. Effect of Design Parameters of Classifier with Coaxial Pipes on Efficiency of Fractionation of Finely Divided Bulk Material / V. E. Zinurov, A. V. Dmitriev, I. N. Madyshev, O. S. Dmitrieva // Chemical and Petroleum Engineering. – 2021. – Vol. 57. – No 7-8. – P. 531-537.
3. Зинуров, В.Э. Численное моделирование газодинамики в центробежном классификаторе / В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, Н. Ф. Сахибгареев, Д. Н. Латыпов, М. Г. Гарипов // Вестник технологического университета. - 2021. – Т. 24. - № 12. – С. 128-132.

Научный руководитель: д.т.н., доцент А.В. Дмитриев

ИЛЬИН Е.С.
Санкт-Петербургский горный университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОЦЕССА БРИКЕТИРОВАНИЯ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СЫРЬЯ

ILIN E.S.
Saint Petersburg Mining University

THE USE OF THE BRIQUETTING PROCESS IN THE PROCESSING OF VARIOUS TYPES OF RAW MATERIALS

Окускование различных видов материалов широко применяется в различных отраслях промышленности, в частности, черной и цветной металлургии для подготовки мелких руд и тонкоизмельченных концентратов к плавке, а также для мелких классов углей, различных видов вторичного сырья, сельхозпродукции и т.д.

Окускование материалов – это процесс превращения мелких классов частиц в более крупные куски с заданными свойствами для более эффективного использования.

Для окускования используют три основных способа: агломерацию, окомкование, брикетирование. Причем доля окусковываемого металлургического (и многих других видов) сырья постоянно растет из-за вовлечения в процесс обогащения все более тонковкрапленных руд, требующих тонкого измельчения [1].

Брикетирование может производиться как без связующих веществ, так и со связующими веществами, которые в свою очередь могут иметь органическую и неорганическую природу. Брикетирование со связующими отличается высокой универсальностью. Т.е. этим способом можно окусковывать практически любые виды сырья.

Для брикетирования без связующих веществ обычно используют пресса высокого давления, например, штемпельные. Для брикетирования со связующими часто применяются вальцовые (валковые) прессы, основными достоинствами которых являются универсальность. Но у вальцовых прессов можно отметить ряд недостатков. Например, в результате даже незначительного смещения ячеек полуформ относительно друг друга образуются ассиметричные брикеты. При этом прочность полученных брикетов может существенно снижаться, вплоть до их разрушения. Поверхность ячеек должна быть идеально гладкой, без выемок и шероховатостей. Также для изготовления рабочей поверхности вальцов необходимо использовать специальные материалы, чтобы минимизировать адгезию, для избегания когезионного разрыва брикетов [1].

Альтернативой брикетированию на валковых прессах может быть экструзионное брикетирование, которое широко применяется, например, при производстве кирпича, всевозможных пластиковых изделий, приготовления кормов и др. Сущность этого метода заключается в формовании за счет продавливания материала через формующую головку (фильеру) с каналом (каналами) необходимого профиля. К числу основных достоинств экструзии, можно отнести следующие: высокая прочность сырых экструдатов (экструзионных брикетов) уже на выходе из фильеры; сравнительно невысокие капитальные затраты на оборудование и обслуживание в целом; относительно невысокие энергетические затраты на формование; более низкий расход связующего по сравнению с другими способами брикетирования; возможность

получения окускованного продукта различных размеров и формы сечения; возможность эффективной переработки материалов с достаточно высокой влажностью (до 20 %) [2-4].

Как и при исследовании руд на обогатимость при разработке технологий брикетирования, необходимо производить исследования на «брикетируемость». При изучении брикетируемости материалов методом «классического» прессования никаких вопросов не возникает. Используется обычный гидравлический пресс и набор матриц. Далее можно проводить практически весь комплекс исследований, как показано, например, в работах. При исследовании брикетируемости материалов экструзионным методом, очевидно нужен экструдер.

При обзоре предлагаемых на рынке лабораторных экструдеров у отечественного производителя не было найдено практически ни одного экструдера, предназначенного для рудных материалов. Предлагаются многочисленные экструдеры преимущественно предназначенные для сельхозпродукции и формования пластиковых изделий. Среди зарубежных моделей найдено их очень небольшое количество, причем эти образцы имеют весьма высокую цену, что делает их труднодоступными.

Нами разработан простой экструдер, стоящий существенно меньше, чем предлагаемые на рынке аппараты. Этот экструдер не является шнековым, а относится к плунжерному типу. В аппарате материал выдавливается из формующей насадки не под давлением шнека, а под давлением поршня, который приводится в движение за счет винтовой пары – рис. 1.

Формующая насадка сменная, соответственно можно изменять форму и размеры экструдатов, а степень сужения канала менять давление прессования.

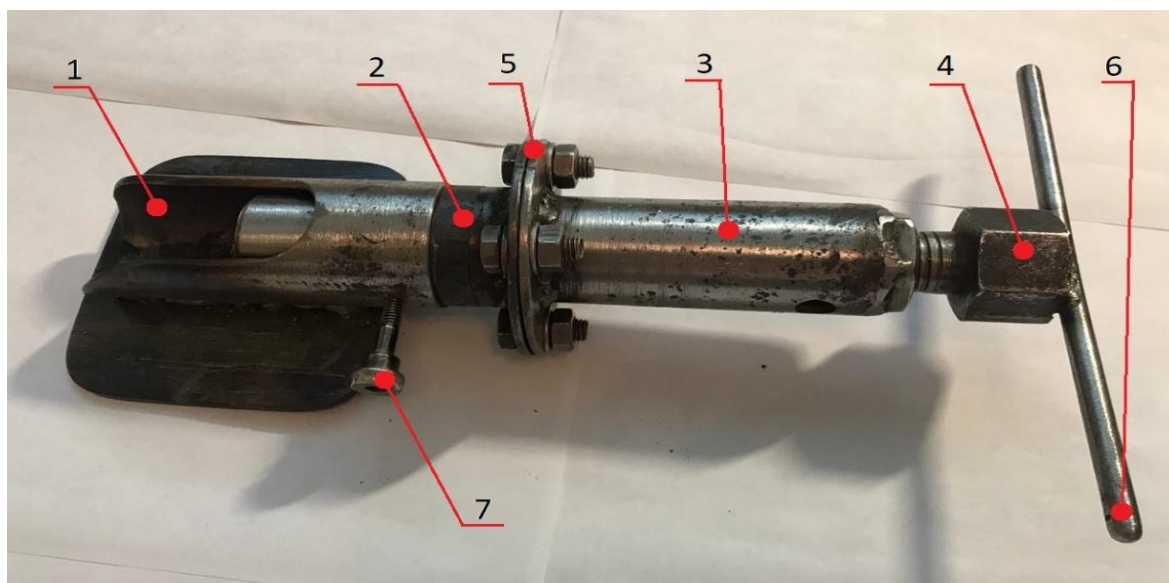


Рисунок 1. Плунжерный экструдер

1 – Основание установки для крепления к столу; 2 – часть корпуса с формующей насадкой; 3 – емкость для исходной шихты; 4 – шнек, соосно закрепленный с корпусом; 5 – фланец, соединяющий две части; 6 – рукоять, 7 – фиксирующий болт.

Плунжерные экструдеры, кроме чисто лабораторных исследований могут также использоваться и при получении материалов, для которых важным является ориентация структурных элементов в пространстве, например, графитовых и других электродов, изготавливаемых на основе углерода.

Для проверки работоспособности экструдера была проведена серия исследований по брикетированию на различных видах сырья.

В частности, были изготовлены экструдаты из богатых железных руд Яковлевского месторождения, из других видов железосодержащего сырья, таких как, стальная стружка, стальные опилки, окалина и т.д. Полученные экструдаты пригодны для металлургической переработки, как компонент шихты.

Другой пример, получение экструдатов из различных видов углеродсодержащего сырья. Так, были получены топливные экструдаты, использованы технологические решения, предложенные в работе [5]. Например, была изготовлена партия топливных экструдатов на основе угольных шламов и бумажных отходов.

Таким образом, в работе предложен экспериментальный плунжерный экструдер, который можно использовать для исследования «брикетируемости» различных видов материалов экструзионным методом. Экструдер прост в изготовлении и существенно дешевле, чем предлагаемые на рынке лабораторные экструдеры.

Изготовлены пробные партии экструдатов из различных материалов.

Список литературы:

1. Елишев А.Т. Брикетирование полезных ископаемых: Учеб. для спец. «Обогащение полез. Ископаемых» - М.: Недра, 1989. – 299 с.
2. Курунов И. Ф., Бижанов А. М. Брэксы-новый этап в окусковании сырья для доменных печей // Металлург. – 2014. – №. 3. – С. 49-53.
3. Бижанов А.М., Загайнов С.А. Испытания брикетов на механическую прочность // Металлург. – 2021. – № 3. – С. 11-18.
4. Кусков В.Б., Бажин В.Ю., Корнев А.В. Окускования железных руд экструзионным методом. Черные металлы. 2019, № 11, стр 4 – 10.
5. Кусков В.Б., Бажин В.Ю., Кускова Я.В. Проблемы использования угольных и других невостребованных угольных и углеродсодержащих материалов в качестве энергетических брикетов // Уголь. – 2019. – № 4. С. 50-54. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-4-50-54>

Научный руководитель: к.т.н., доцент В.Б. Кусков

КУЗНЕЦОВ В.В.

Санкт-Петербургский горный университет

**ПРИМЕНЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНО-КИНЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ
ФЛОТИРУЕМОСТИ МИНЕРАЛОВ В ПРИКЛАДНЫХ ЦЕЛЯХ**

KUZNETSOV V.V.

Saint Petersburg Mining University

**APPLICATION OF THE PROBABILISTIC-KINETIC APPROACH TO THE
ASSESSMENT OF MINERAL FLOATABILITY FOR APPLIED PURPOSES**

Актуальность исследования. Ключевым источником меди и никеля в Российской Федерации остаются месторождения сульфидных медно-никелевых руд. Тесная ассоциация рудных минералов и их тонкая вкрапленность в массив вмещающей породы обуславливает сложность переработки данных руд. Основным обогатительным переделом сульфидных руд является флотация. Сложность процесса, обусловленная множеством влияющих факторов, затрудняет прогнозировать эффективность предлагаемых технологических решений на этапе проектирования. К примеру, присутствие ионов кальция в пульпе может значительно ухудшить технологические показатели схемы, за счет изменения состава химических соединений на поверхности минералов. Одно из решений данной проблемы состоит в применении методов имитационного моделирования процессов флотации. Ключевым аспектом таких моделей является показатель флотиремости, характеризующий вероятность флотационного обогащения [1-3].

Цель и методы исследования. Целью данной работы являлось установление закономерностей влияния ионов кальция на вероятность флотационного обогащения. В работе исследовалось влияние концентрации ионов кальция в пульпе на распределение материала по вероятности флотации. Объектом исследования являлись пробы мелкодробленой медно-никелевой руды. Для проведения флотационных испытаний проба измельчалась до крупности 90% класса -74 мкм. При флотации была использована собирательная смесь бутилового и амилового ксантогената калия. Серия опытов флотационного обогащения была произведена при трех различных значениях концентрации ионов кальция в пульпе: $13,90 \pm 0,28$ мг/дм³; $27,52 \pm 0,55$ мг/дм³; $44,45 \pm 0,89$ мг/дм³. Анализ химического состава продуктов обогащения производился с применением рентгенофлуоресцентного анализатора «EDX 7000 Shimadzu».

В работе использован модифицированный подход к определению распределения материала по классам флотиремости. Показатель флотиремости определялся как вероятность перехода компонента в пенный продукт. Были установлены следующие диапазоны показателей для классов флотиремости:

- быстрофлотиремый: 1-0,5;
- среднефлотиремый: 0,5-0,25;
- медленнофлотиремый: 0,25-0,1;
- нефлотиремый: 0,1-0.

На основании результатов исследования кинетики флотационного обогащения установлены параметры γ -модели функции вероятностного распределения значений удельной скорости флотации меди, никеля и кремния. Медианное значение функции

было принято как значение константы скорости флотации быстрофлотируемой фракции. Значения констант остальных фракций рассчитывались пропорционально показателям флотируемости. Алгоритм подхода представлен на рисунке 1.

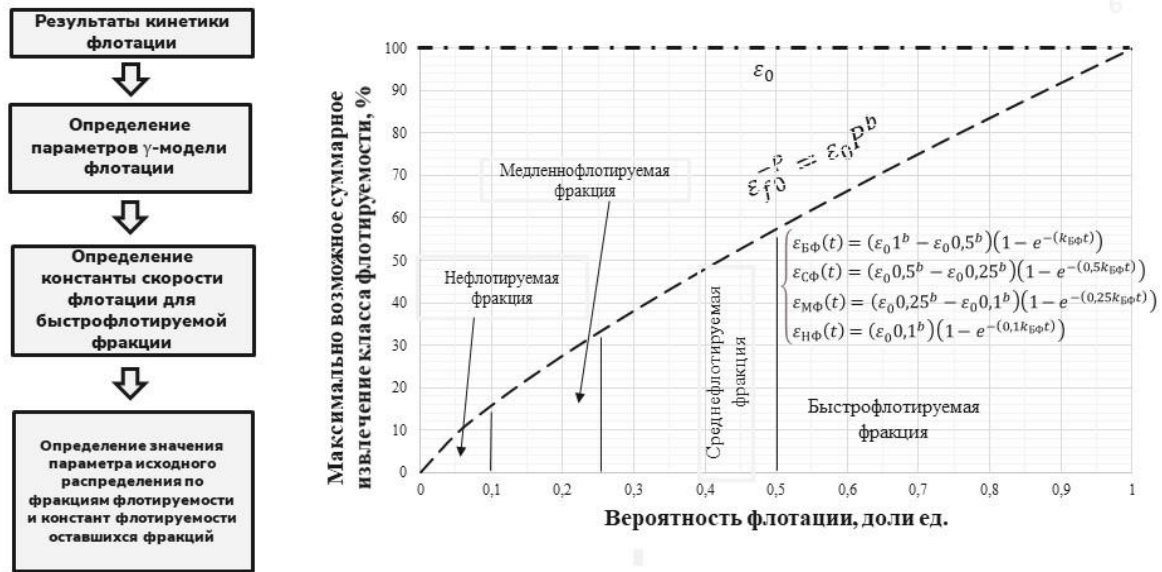


Рисунок 1. Подход к определению распределения материала по классам флотируемости на основании значений вероятности флотации

Выводы. На основании результатов исследований установлено, что присутствие в пульпе ионов кальция повышает содержание фракции материала с низкой вероятностью флотационного извлечения. Графическая интерпретация полученных результатов представлена на рисунке 2.

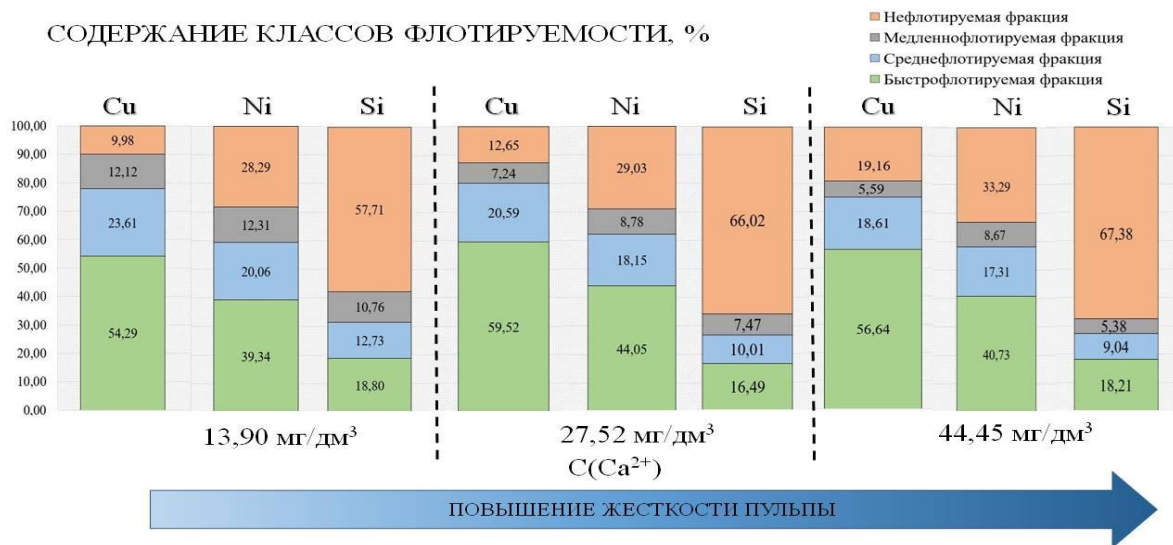


Рисунок 2. Результаты исследования флотируемости медно-никелевых руд при разных значениях содержания ионов кальция в пульпе

Анализ полученных данных показал, что при увеличении жесткости пульпы происходит уменьшение предельного суммарного извлечения меди и никеля во флотационный концентрат. Наибольшие значения содержаний классов флотируемости полезных компонентов с самой высокой вероятностью флотации получены при концентрации ионов кальция в пульпе 27,52 мг/дм³. Наибольшее значение содержания быстрофлотируемой фракции кремния во флотационном концентрате составило 18,80% и достигнуто при концентрации ионов кальция в 13,90 мг/дм³.

Таким образом, присутствие ионов кальция в пульпе снижает флотационную способность медных и никелевых минералов и понижает предельное извлечение полезных компонентов в концентрат. Также установлено снижение вероятности флотации для кремнийсодержащих минералов. Общее снижение флотируемости руды вероятно обусловлено негативным влиянием ионов кальция на устойчивость пенного слоя и его несущую способность.

Вклад авторов.

Кузнецов В.В. – выбор и обоснование методов исследования, проведение экспериментальных исследований, анализ полученных данных, описание результатов.

Д.т.н., проф. Александрова Т.Н. – предложение идеи исследования, выбор и обоснование методов исследования, анализ полученных данных.

Список литературы:

1. Aleksandrova T. N. Processing of platinum group metal ores in Russia and South Africa: current state and prospects / O'Connor C. // Journals of the Mining Institute. 2020. V. 244.
2. Bocharov V. A., Factors determining the formation of the ionic composition of the liquid phase of the pulp and process water in flotation of sulfide ores / Ignatkina V. A., Viduetsky M. G. // Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). 2006. №. 8.
3. Alexander D. The application of multi-component floatability models to full-scale flotation circuits / Runge, K. C., Franzidis, J., & Manlapig, E. //Seventh Mill Operators' Conference, Proceedings. - AusIMM, 2000. - V. 6. - №. 6. - pp. 167-177.

Научный руководитель: д.т.н, профессор Т.Н. Александрова

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИОНОВ СОЛЕЙ ЖЕСТКОСТИ В ВОДЕ ПРИ
ФЛОТАЦИИ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД**

LUSHINA E.A.
Saint Petersburg Mining University

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF HARDNESS IONS IN WATER DURING
FLOTATION OF COPPER-NICKEL ORES**

Рациональное использование природных ресурсов является актуальной проблемой, ввиду ухудшения минерального состава руд. Большинство фабрик используют оборотное водоснабжение с целью экономии расхода воды. Перед повторным использованием вода проходит стадию очистки, однако в ней накапливаются различные ионы, оказывающие влияние на химический состав воды, pH и Eh. Качество воды и ее химический состав влияют на технологические показатели, поэтому **исследование** влияния ионов жесткости воды на технологические показатели флотации медно-никелевых руд **является актуальным**.

Цель данного исследования: установить влияние ионов солей жесткости в составе оборотной воды на технологические показатели флотационного обогащения медно- никелевых руд.

Объектом исследования в данной работе была выбрана медно-никелевая руда сульфидного типа. Анализ минералогического состава был проведен с использованием оптического поляризационного микроскопа класса Axio Imager A2m (Zeiss). Измерение поверхностного натяжения было выполнено методом отрыва кольца Дю Нуи с помощью тензиометра DCAT. Флотационное обогащение проводилось на лабораторной пневмомеханической флотационной машине Flotation Bench Test Machine фирмы Laagmann с объемом камеры 1,5 л. Для анализа элементного состава образцов был использован рентгенофлуоресцентный анализатор EDX 7000 фирмы Shimadzu.

С помощью оптического поляризационного микроскопа были проведено исследование минералогических особенностей рудной минерализации образцов на аншлифах (рис.1).

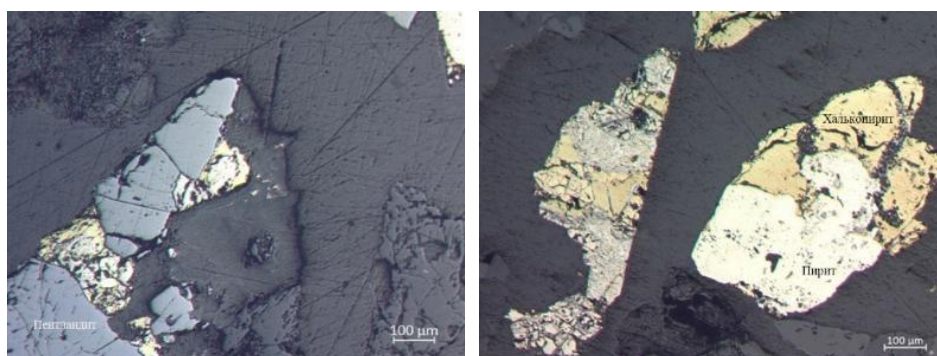


Рисунок 1. Результаты исследования минералогических особенностей образцов руды

Рудная минерализация представлена преимущественно халькопиритом, пирротином и пентландитом, присутствуют металлы платиновой группы. Анализ данных, представленных на рисунке 1 показывает, что для рудной минерализации в исследуемых образцах характерно тесное взаимопрорастание, как для медных минералов с пиритом, так и для медных минералов с пентландитом.

По результатам рентгенофлуоресцентного анализа исходной пробы содержание основных компонентов составило: $\text{CuO} - 0,56 \pm 0,03\%$, $\text{NiO} - 0,44 \pm 0,02\%$, $\text{SiO}_2 - 35,41 \pm 1,77\%$.

Примесями, наиболее сильно влияющими на процесс флотационного обогащения, являются катионы кальция и магния, ввиду увеличения жесткости воды и негативного воздействия на пенообразующие свойства вспенивателей. Исследования влияния ионов кальция и магния на поверхностное натяжение жидкости приведены на рисунке 2.

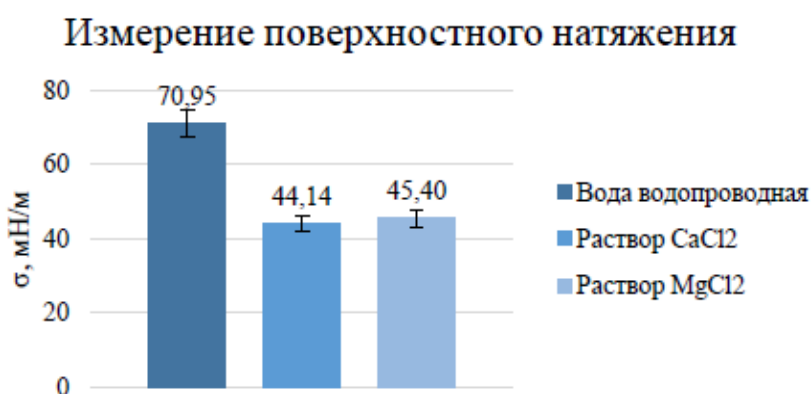


Рисунок 2. Результаты измерения поверхностного натяжения

Анализ данных, приведенных на рисунке 2 показывает, что наибольшее влияние по сравнению с катионом Mg^{2+} на поверхностное натяжение имеет катион Ca^{2+} , для данного раствора получено поверхностное натяжение равное 44,14 мН/м.

Полученные данные влияния массовой концентрации ионов кальция на извлечение меди и никеля в концентрат при исследовании кинетики флотации графически приведены на рисунках 3 и 4.

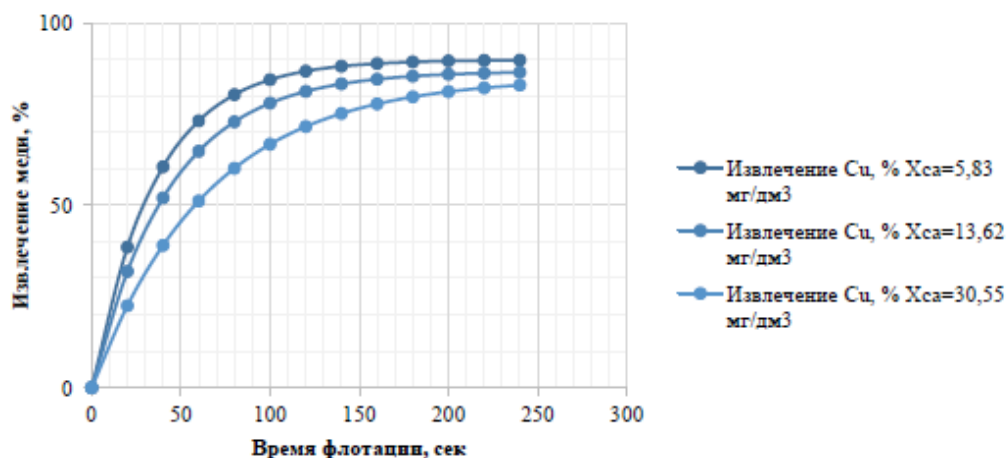


Рисунок 3. Результаты исследования влияния массовой концентрации ионов кальция на извлечение меди в концентрат при флотации медно-никелевых руд

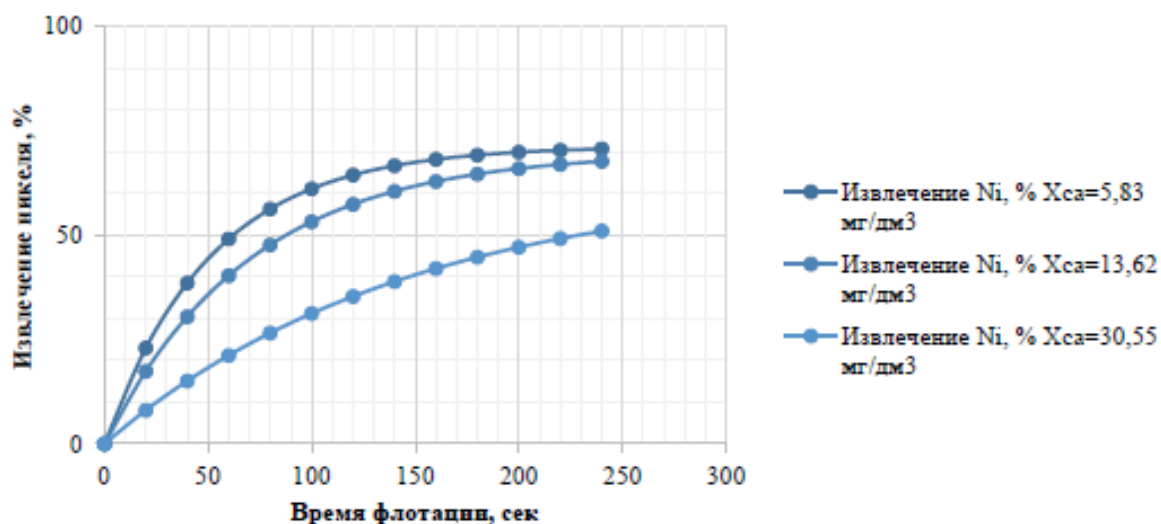


Рисунок 4. Результаты исследования влияния массовой концентрации ионов кальция на извлечение никеля в концентрат при флотации медно-никелевых руд

Извлечение меди в концентрат имеет значение выше, чем извлечения никеля, так как халькопирит является более легкофлотируемым минералом, чем пентландит. Наибольшие значения извлечения Cu и Ni получились при концентрации ионов кальция 5,83 мг/дм³, из чего можно сделать вывод, что повышение жесткости воды негативно сказывается на флотационном обогащении.

Заключение. В результате проведенного исследования обосновано негативное влияние ионов солей жесткости при флотации медно-никелевых руд за счет снижения извлечения меди и никеля в концентрат. Установлено, что ионы кальция сильнее снижают поверхностное натяжение воды, чем ионы магния. Во всех случаях извлечение меди в концентрат имеет более высокие значения, чем никеля. Для концентрации ионов кальция 5,83 мг/дм³ получено более высокое извлечение ценных компонентов в концентрат, увеличение данного значения снижает показатели извлечения.

Вклад авторов:

Александрова Т.Н. – разработка концепции исследования, постановка цели и задач исследования;

Лушина Е.А. – проведение экспериментальных исследований по флотационному обогащению медно-никелевых руд и поверхностному натяжению жидкости.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Т.Н. Александрова

МАКСИМОВА Р.И.

Санкт-Петербургский горный университет

МЕТОДИКА СИНТЕЗА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ В СИСТЕМЕ $\text{CaO-AL}_2\text{O}_3\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХИМИЧЕСКИ ОСАЖДЕННОГО КАРБОНАТА КАЛЬЦИЯ

MAKSIMOVA R.I.

Saint Petersburg Mining University

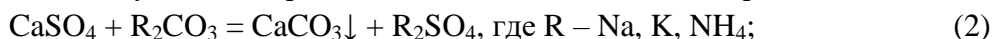
METHODOLOGY OF SYNTHESIS OF SOLID SOLUTIONS IN THE $\text{CaO-AL}_2\text{O}_3\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ SYSTEM USING CHEMICALLY DEPOSITED CALCIUM CARBONATE

В современном мире повышение эффективности переработки минерального сырья является одной из главных задач, поставленных перед обогащательными и химико-металлургическими предприятиями. При переработке алюмосиликатного сырья достижение поставленной задачи возможно путем применения твердых растворов на основе сложных алюминатов щелочноземельных металлов. Данные растворы выполняют функцию ионообменников, коагулянтов, активирующих добавок в вяжущих композициях, а также химически активных реагентов для разделения и селективного выделения компонентов в системах глиноземного производства и в их близких аналогах. Синтез твердых растворов с перечисленными свойствами является инновационной технологией, разработанной профессором В.М. Сизяковым и его учениками [1]. В настоящее время данная технология внедрена на Пикалевском глиноземном заводе, что обеспечило получение глинозема высокого качества, соответствующего марке Г-000 по действующему ГОСТу. Особое внимание в технологии сфокусировано на режимах синтеза химически активных соединений – гидрокарбоалюминатов кальция (ГКАК) с применением известкового молока. Кристаллизация гидрокарбоалюмината кальция протекает в широком диапазоне температур (20-100°C), при концентрации Na_2O_k до 300г/л и значении каустического модуля раствора $\alpha_k = 1,5\text{-}33,0$. Время существования данного химического реагента уменьшается при повышении температуры проведения синтеза и составляет от 1 мин. до 12-16 ч. При увеличении времени термостатирования ГКАК переходит в термодинамически устойчивое соединение C_3AH_6 (трехкальциевый гидроалюминат) [2].

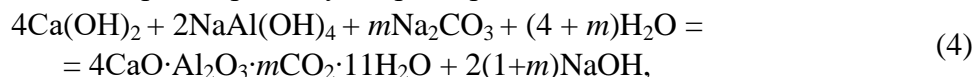
В научных исследованиях, направленных на повышение активности ГКАК в сочетании с ресурсосберегающим режимом его получением, обнаружена возможность синтеза данного реагента с применением химически осажденного карбоната кальция [3,4]. Это способствует рациональному использованию известкового компонента в составе технологических полупродуктов и отходов, а также снижению выбросов парникового газа. Получение химически осажденного карбоната кальция из фосфогипса, металлургических шлаков и шламов возможно методом гидрохимической конверсии. Например, осаждение карбоната кальция при конверсионной переработке белитового шлама глиноземного производства осуществляется по реакции:



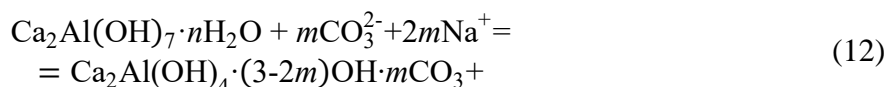
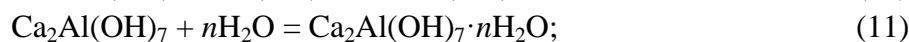
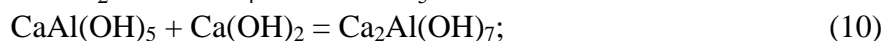
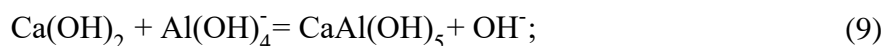
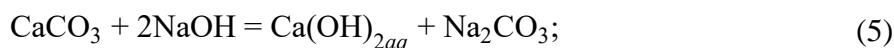
Переработка фосфогипса и других гипсовых отходов техногенного происхождения с получением карбоната кальция выполняется по реакциям:



В отличие от синтеза ГКАК с использованием известкового молока и алюминатно-щелочного раствора по суммарной реакции:



Взаимодействие химически осажденного карбоната кальция с алюминатным раствором является сложным и многостадийным процессом. Предполагаемая последовательность протекания такого процесса, при условии реализации элементарных стадий не выше второго порядка, может быть представлена следующей схемой:



Исследования, направленные на синтезирование гидрокарбоалюмината кальция, проводились исключительно на натриевых алюминатных растворах. Однако в составе алюмосиликатного сырья помимо натрия содержится калий, что вызывает необходимость в изучении влияния данного элемента на технологический процесс производства глинозема и в выявлении свойств ГКАК, синтезированного из калиевых алюминатных растворов.

Синтез ГКАК осуществляется в лабораторном масштабе путем взаимодействия оксида кальция с калиевыми алюминатно-поташными растворами. Приготовление концентрированного алюминатного раствора проводится путем растворения гидроксида алюминия марки ГД8 в растворе щелочи КОН («хч»), с использованием в качестве источника анионов CO_3^{2-} поташ K_2CO_3 («хч»). Раствор содержит $[\text{Al}_2\text{O}_3]=160,00$ г/л, $[\text{K}_2\text{O}_к]=443,47$ г/л, $[\text{K}_2\text{O}_{\text{угл}}]=60,00$ г/л, каустический модуль $\alpha_к = 3,00$. Аликвота концентрированного раствора для получения разбавленных растворов составляет 250 мл. Осуществляется доведение содержания исходных компонентов в растворах до заданных концентраций: $[\text{Al}_2\text{O}_3] = 80,00$ г/л, $[\text{K}_2\text{O}_{\text{угл}}] = 15,00$ г/л. Содержание $[\text{K}_2\text{O}_к]$ в разбавленных растворах является варьированным параметром и составляет 80, 100, 120, 140 г/л. Полученные алюминатные растворы (4 шт.) анализируются на содержание Al_2O_3 , $\text{K}_2\text{O}_к$ и $\text{K}_2\text{O}_{\text{общ}}$ по известным отраслевым методикам.

Получение оксида кальция путем двойного прокаливания CaCO_3 («хч» или «чда») при 950°C в муфельной печи Nabertherm LHT 08/17/P470. Время каждой прокалики составляет 4ч., скорость нагрева печи – 10-20 градусов/мин. Активность CaO

после первого прокалывания равна 75-80%, после второго – 96-98%. Оценка активности CaO осуществляется методом определения количества углерода на анализаторе общего и органического углерода TOC-L с приставкой для анализа твердых образцов и методом титрования по ГОСТ 4530-76. Хранение прокаленного продукта осуществляется в эксикаторе без доступа воздуха.

Условия синтеза ГКАК:

$$\text{м.о.} \frac{\text{CaO}}{\text{Al}_2\text{O}_3_{\text{р-р}}} = 1 \quad (13)$$

Синтезирование ГКАК выполняется в AutoMate Reactor System фирмы HEL. Процесс выполняется при температурах 50°C, 60°C, 70°C и 80°C. Время синтезирования ГКАК составляет 30, 60, 90 мин, что позволяет определить наилучшие условия и снять кинетику проведения процесса.

По окончании синтезирования ГКАК осуществляется его фильтрация (под вакуумом), проводится промывка осадков на фильтре горячей водой. Маточные растворы анализируются на Al_2O_3 , K_2O_k и остатки $\text{K}_2\text{O}_{\text{угл}}$.

Полученные осадки сушатся в сушильном шкафу при $t=220^\circ\text{C}$, также для разложение $\text{Ca}(\text{OH})_2$, содержащегося в материале, они подвергаются прокалке при 600°C в муфельной печи МИМП-10-ПУ в течение 2 ч. Полученный материал хранится в эксикаторе (над парами CaCl_2). Пробы 30 и 90 минут исследуются методами РФА, РСА, ИКС, ДТА, электронной микроскопии, проводится гранулометрический анализ твердой фазы.

Список литературы:

1. Сизяков В.М. Повышение качества глинозема и попутной продукции при комплексной переработке нефелинов / В.М. Сизяков, В.И. Корнеев, В.В. Андреев. М., 1986. С.117-118.
2. Сизяков В.М. О роли гидрокарбоалюминатов кальция в усовершенствовании технологии комплексной переработки нефелинов / В.М. Сизяков, В.Н. Бричкин // Записки Горного института. 2018. Т. 231. С. 292-298. DOI:10.255115/PMI.2018.3.292
3. Сизяков В.М. Модернизация технологии комплексной переработки кольских нефелиновых концентратов на Пикалевском глиноземном комбинате // Цветные металлы – 2010. Красноярск, 2010. С. 367-378.
4. Сизякова Е.В. Применение сульфо- и карбоалюминатов щелочно-земельных металлов в металлургии и химической технологии / Е.В. Сизякова, В.Н. Бричкин, В.М. Сизяков // Научные основы химии и технологии комплексного сырья и синтеза на его основе функциональных материалов. Апатиты, 2008. Ч.1. С.164-167.
5. Сизяков В.М. Повышение комплексности переработки нефелинового сырья на основе содовой конверсии белитового шлама / В.М.Сизяков, В.Н.Бричкин, Р.В.Куртенков // Обогащение руд. 2016. № 1. С. 34-39. 13.

Научный руководитель: д.т.н., заведующий кафедрой В.Н. Бричкин

МУШИХИН Е.А., ПОЛЯКОВ А.А.
Санкт-Петербургский горный университет

ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТОКА И ПОТЕНЦИАЛА ПО ПОВЕРХНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ МАЛОРАСХОДУЕМЫХ ЭЛЕКТРОДОВ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ЭЛЕКТРОЛИЗА КРИОЛИТОГЛИНОЗЕМНЫХ РАСПЛАВОВ

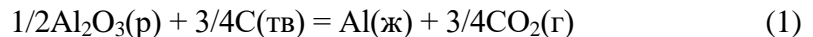
MUSHIKHIN E.A., POLYAKOV A.A.
Saint Petersburg Mining University

THE INFLUENCE OF THE UNEVEN CURRENT AND POTENTIAL DISTRIBUTION OVER VERTICAL LOW-CONSUMABLE ELECTRODES ON ALUMINUM REDUCTION PROCESS STABILITY

В настоящей работе приведены результаты и обсуждение теоретических и экспериментальных исследований неравномерного распределения плотности тока и потенциала по поверхности электродов, как одного из ключевых факторов, препятствующих ведению стабильного электролиза и полноценному внедрению технологии вертикальных малорасходуемых анодов при электролитическом получении алюминия в промышленных масштабах.

Актуальность исследования

Способ электролитического получения алюминия Эру-Холла существует уже более 130 лет и остается единственным способом, реализованным в промышленном масштабе. Автоматизация рабочих процедур и постепенное совершенствование конструкции электролизеров позволило значительно увеличить технико-экономические показатели электролиза. Однако сам электролитический процесс не претерпел значительных изменений:



Катодом является зеркало расплавленного алюминия, расположенного в углеродной подине, а анодами – обожженные углеродные блоки, погруженные в электролит на основе натриевого криолита. Температура процесса поддерживается на уровне 960 °С.

С момента зарождения алюминиевой промышленности было предпринято много попыток реализации вертикальных электродов в производство алюминия на промышленном уровне. Множество исследователей изучали возможности использования выделяющих кислород малорасходуемых анодов и смачиваемых катодов в ходе лабораторных и полупромышленных исследований [1-4]. Эти исследования показывают, что использование таких электродов возможно, но все же существуют проблемы, связанные с высокой скоростью коррозии анодов и пассивация электродов, что приводит к нестабильности при электролизе. Существующие рекомендации по снижению температуры электролита и оптимизации состава электролита недостаточны для полного внедрения технологии с вертикальными электродами на коммерческой основе.

Было высказано предположение [5], что неравномерное распределение тока и потенциала решетки на поверхности вертикальных электродов может быть объяснено прогрессирующей дестабилизацией электролиза и, как следствие, невозможности внедрения полностью коммерческой технологии с вертикальными электродами.

В соответствии с теорией распределения плотности тока и потенциала была разработана аналитическая модель распределения тока и потенциала для углеродных и металлических электродов в криолитоглиноземном расплаве. В результате проведенного моделирования был установлен выраженный краевой эффект и концентрация тока на углах и ребрах электродов. Локальная плотность тока на углах превышает таковую в центральной части более чем в 2 раза.

На основании полученных результатов было предложено использование электродов эллиптической формы для ликвидации краевого эффекта и выравнивая локальной плотности тока по всей поверхности электродов. Таким образом, **целью** настоящего исследования является экспериментальное установление влияния неравномерного распределения тока на стабильность электролитического процесса. Соответственно, **задачей** исследования стало проведение серии экспериментов с использованием электродов прямой и эллиптической формы для выявления влияния краевых эффектов концентрации тока на стабильность электролиза.

Методы исследования

Исследования проводились в лабораторной электролитической ячейке, состоящей из графитового тигля, электролита и электродов из нержавеющей стали. Боковая стенка тигля защищалась алуноводной трубкой для предотвращения замыкания электродов на графитовый тигель. В качестве электролита использовался натриевый криолит состава: $\text{KO}=2,3$, концентрация Al_2O_3 – 9 мас.%, которая соответствует концентрации насыщения в электролите для защиты алуноводных узлов ячейки от растворения. Температура электролита поддерживалась в районе 970°C . Использовались два типа электродов: «прямые», имеющих форму прямоугольника, которые соответствуют стандартной геометрии, и эллиптические электроды, геометрия которых полностью лишена выраженных углов и ребер. Все параметры эксперимента поддерживались постоянными за исключением геометрии электродов.

Для проведения лабораторного электролиза использовался источник постоянного тока ($I = 0 \dots 50 \text{ A}$, $U = 0 \dots 24 \text{ B}$). Для мониторинга и регистрации показаний силы тока, напряжения, электродного потенциала и температуры использовались измерители с универсальными входами с унифицированными сигналами $0 \dots 1 \text{ B}$ (сила тока, напряжение) и ТХА (К) $0 \dots 1300 \text{ }^\circ\text{C}$ (температура). Модули предназначены для измерения аналоговых сигналов встроенными аналоговыми входами, преобразования измеренных величин в значение физической величины и последующей передачи этого значения по сети RS-485. Опрос сигнала происходил с частотой 1 точка в секунду.

Результаты и обсуждение

В ходе экспериментальных исследований были получены зависимости напряжения ячейки от времени электролиза. На рисунке 1 представлены результаты двух экспериментов, проведенных с использованием «прямых» и эллиптических электродов. Сила тока задавалась в соответствии со средней геометрической плотностью тока, которая составляла $1 \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2}$. После включения тока наблюдается постепенный выход в стационарный режим работы, о чем свидетельствуют кривые напряжения. Такая динамика в начале экспериментов обусловлена электрохимическим формированием оксидного слоя на поверхности анодов и выделения алюминия на поверхности катодов. Далее на рисунке видно, что напряжение ячейки с прямыми электродами начинает экспоненциально увеличиваться с последующим выходом в режим пассивации, в то время как ячейка с эллиптическими электродами показывает стабильное напряжение на протяжении всего эксперимента.

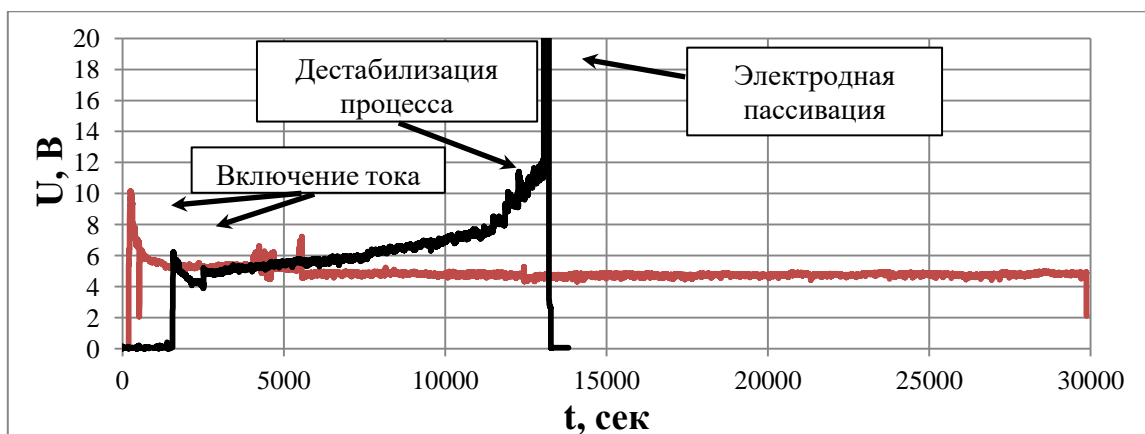


Рисунок 1. Зависимость напряжения ячейки, U , от времени электролиза: черная линия – электроды прямоугольной формы, красная линия – электроды эллиптической формы

Характер полученных кривых свидетельствует о непосредственном влиянии краевого эффекта геометрии электродов на стабильность электролитического процесса. Использование анодов с поверхностью, структура которой характеризуется наличием выраженных ребер и краев, а также отверстий, выступов, швов и т.д. приведет к ускоренной коррозии в этих локациях и к постепенной пассивации всей поверхности электрода с последующей дестабилизацией электролиза.

Выводы

На основании разработанных аналитических моделей в соответствии с теорией распределения тока и потенциала, а также теории электролиза криолитоглиноземных расплавов, экспериментально подтверждено влияние неравномерного распределения плотности тока на стабильность электролитического процесса. Использование электродов эллиптической формы обеспечивает отсутствие краевого эффекта на поверхности электрод, более равномерное распределение тока, как следствие, стабильный электролитический процесс. В дальнейшем представляет интерес получение экспериментальных зависимостей локальной плотности тока и локального электродного потенциала от кинетических параметров электродных процессов на аноде и катоде.

Список литературы:

1. A. Solheim, "Inert Anodes – the Blind Alley to Environmental Friendliness?" TMS 2018: Light Metals, p. 1253–1260 (2018), doi.org/10.1007/978-3-319-72284-9_164
2. C. W. Brown, "The Wettability of TiB_2 -Based Cathodes in Low-Temperature Slurry-Electrolyte Reduction Cells." JOM, **5**, 38 (1998).
3. D. R. Bradford, "Inert Anode Metal Life in Low Temperature P/Reduction Process." Final Technical Report of Northwest Aluminum Technologies. Award Number: DE-FC36-98ID13662, (2005), Available from: <https://ntrl.ntis.gov/NTRL/dashboard/searchResults/titleDetail/DE2006841153.xhtml>
4. J. Wang, Y. Lai, Z. Tian, Y. Liu, "Effect of electrolysis superheat degree on anticorrosion performance of $5Cu / (10NiO - NiFe_2O_4)$ cermet inert anode." J. Cent. South Univ. Technol., 768 (2007).
5. E. S. Gorlanov, "Features of Solid Electrode Application for Cryolite-Alumina Melt Electrolysis." Russ., Proceedings of Irkutsk State Technical University, 23(2), p. 356-366 (2019), <https://vestirgtu.elpub.ru/jour/issue/view/16>

Научный руководитель: д.т.н., профессор Е.С. Горланов

НАФИКОВ Р.К.

Уфимский государственный авиационный технический университет

**ВЛИЯНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ МЕТОДАМИ РКУП И ИПДК
НА МЕХАНИЧЕСКИЕ, КОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА И МИКРОСТРУКТУРУ
СПЛАВА MG-SR**

NAFIKOV R.K.

Ufa State Aviation Technical University

**EFFECT OF COMBINED TREATMENT BY ECAP AND HPT ON THE
MECHANICAL, CORROSION PROPERTIES, AND MICROSTRUCTURE OF THE
MG-SR ALLOY**

В данной работе представлены исследования влияния комбинированной обработки методами равноканального углового прессования (РКУП) и интенсивной пластической деформации кручением (ИПДК) на механические, коррозионные свойства и микроструктуру сплава Mg-Sr.

Магний и его сплавы привлекают к себе повышенный интерес работников медицинской сферы в связи с высочайшей структурной эффективностью и практически идеальной биосовместимостью.

В современных условиях реальная потребность в имплантатах для остеосинтеза и эндопротезирования суставов превышает предложение в 3–5 раз. При этом рынок медицинских изделий для биоинженерии костной ткани занимают, в основном, имплантаты из длительно растворяющихся биоинертных металлов и сплавов, в том числе несущих биоинертное (металлооксидное) либо биоактивное покрытия (кальцийфосфатное, биостекло, стеклокерамическое и т.п.). Известны три основные группы биodeградирующих материалов, которые позволяют применить их для остеосинтеза: полимеры, керамика и ее композиты, металлический магний.

Материалы на основе магния (Mg) имеют ряд преимуществ перед биоинертными сплавами металлов, полимерами и биокерамикой. Магний – жизненно важный химический макроэлемент (0,2% массы тела), который считается нетоксичным, депонируется в костной ткани, имеет хорошую биосовместимость, биodeградируемость, абсорбируемость, высокий предел прочности в сравнении с полимерами и более высокую пластичность в сравнении с керамикой, что предполагает его применение в качестве костных имплантатов.

Магниевые сплавы обладают высокой удельной прочностью и удельной жесткостью, проявляют хорошие усталостные свойства, хорошо обрабатываются резанием, в течение длительного времени сохраняют стабильность механических свойств и размеров, хорошо поглощают вибрацию. Однако они довольно мягки, плохо сопротивляются износу, не проявляют коррозионную стойкость по отношению к большинству кислот, пресной и соленой воде, но стабильны на воздухе. От коррозии их обычно защищают поверхностным покрытием.

В данной работе для легирования использован стронций, который так же является жизненно необходимым для человека. Легирование стронцием повышает прочность сплава. Также повышения прочности, возможно, достичь измельчением зеренной структуры различными методами, такими как РКУП и методом ИПДК. Таким

образом, целью данной работы стало изучение механических, коррозионных свойств и микроструктуры сплава Mg-Sr после в процессе деформации.

В настоящее время в мире разрабатываются имплантаты из магниевых сплавов, которые не нужно удалять после восстановления тканей. Применение магния и его сплавов до сих пор было ограничено из-за проблем с термомеханической обработкой. Но сегодня в этой сфере наметились положительные сдвиги.

Исходное структурное состояние не обеспечивает привлекательные механические свойства по сравнению с образцами, подвергнутыми интенсивной пластической деформации. Образцы после РКУП+ИПДК, далее будут называться комбинированная обработка (CP), имеют наибольшие значения микротвердости, что предполагает высокую прочность при растяжении. Однако из-за высоких внутренних напряжений эти образцы показали хрупкое разрушение, даже не достигнув предела текучести. Образцы после CP-AA250 продемонстрировали высокие значения предела прочности 253 МПа, и одновременно высокие значения относительного удлинения 6,5% (рис.1б. табл. 1).

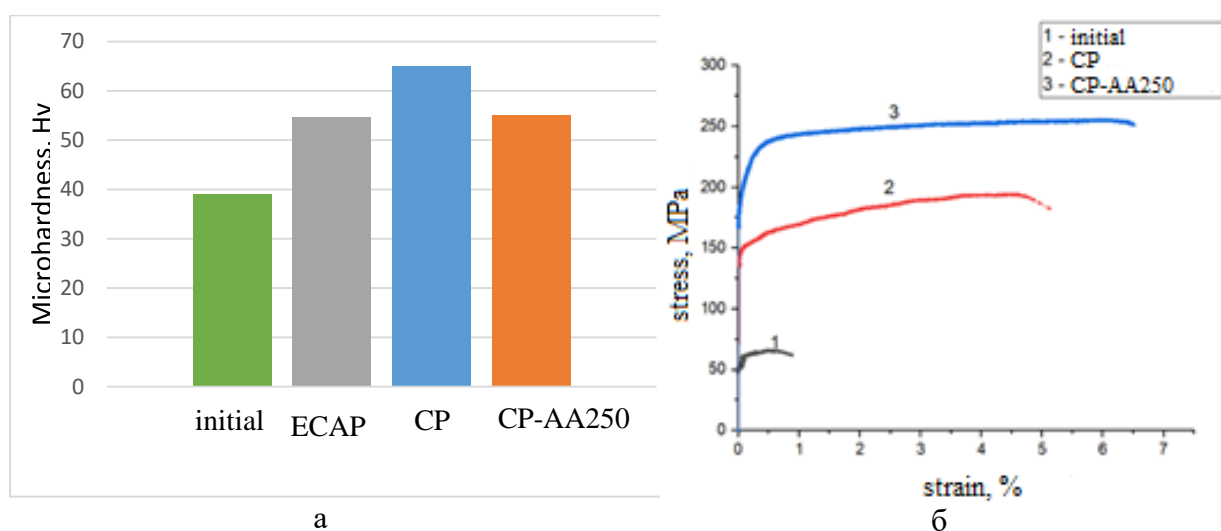
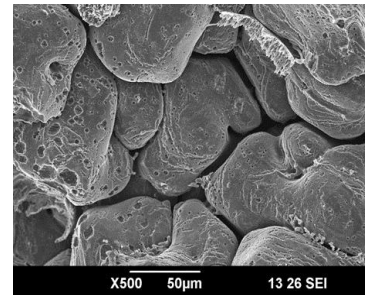
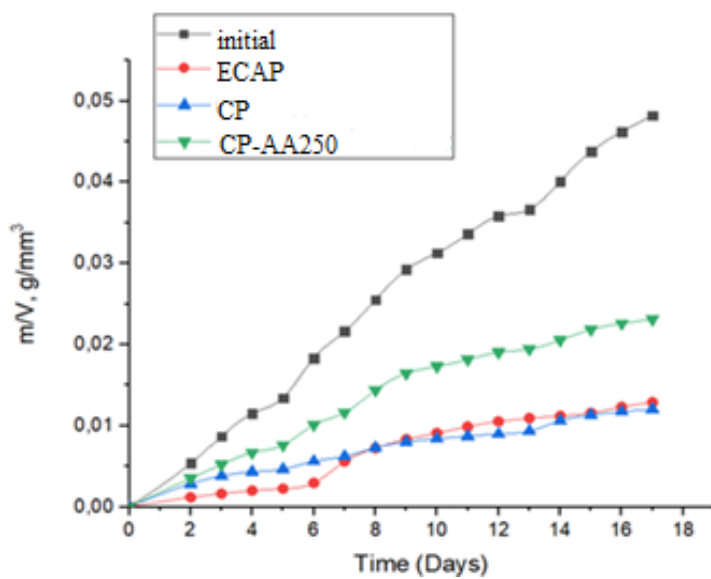


Рисунок 1. (а) – Зависимость микротвердости от процесса обработки, (б) – Результаты механических испытаний на растяжение

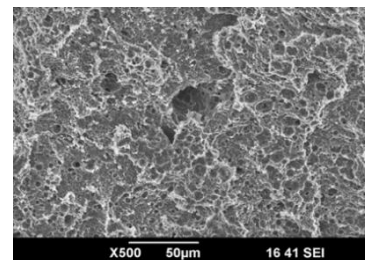
Таблица 1. Механические свойства

Состояние сплава Mg-2%Sr	YS _{0,2} , МПа	UTS, МПа	Elongation, %
Исходный сплав Mg-2%Sr	63	65	0,7
РКУП 400 ⁰ С	151	193	4,3
РКУП 400 ⁰ С + ИПДК 100 ⁰ С + ТО250 ⁰ С	221	253	6,5

Исследования коррозионной стойкости показали, что в исходном образце наблюдается самая интенсивная скорость коррозии, тогда как образцы с мелкозернистой структурой, полученной после пластических деформаций, демонстрируют большую коррозионную стойкость (рис.2а).



б



в

Рисунок 2. (а) – Зависимость потери массы от воздействия солевого раствора образцов Mg - 2% Sr после различных видов обработок. Изображение микроструктуры образцов после 30 дней коррозии: (б) – гомогенизированное состояние; (в) – РКУП + ИПДК при 100 оС + ТО 250 оС

В результате исследований было выявлено, что применение CP к РКУП образцам ведет к значительному увеличению микротвердости с 54,6 HV (РКУП) до 65 HV (CP) за счет измельчения структуры, увеличения плотности дислокаций, а также твердорастворного упрочнения исследуемого сплава Mg-2%Sr. Также было установлено, что исходный сплав корродирует быстрее, чем образцы после пластической деформации. Причиной меньшей скорости коррозии в ультрамелкозернистом образце может быть разрушение при ИПД-обработке непрерывной сетки эвтектик, играющей роль катода при коррозионных испытаниях. Проанализирована поверхность сплава в процессе вылеживания в коррозионной среде. Установлено, что в исходном состоянии коррозия является межкристаллитной, а после ИПД – питтинговая с разной степенью однородности, зависящей от метода ИПД.

Таким образом, сочетание повышенной прочности и коррозионной стойкости, наблюдаемое в ультрамелкозернистом сплаве Mg-2% Sr, может быть привлекательным для следующих исследований функциональных свойств сплава для улучшения конструкции имплантатов в медицине.

Научный руководитель: к.т.н., доцент О.Б. Кулясова

ПЕРЕВЕРЗЕВ К.А.

Заполярный государственный университет имени Н.М. Федоровского

**ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ ПРИ ЭЛЕКТРОРАФИНИРОВАНИИ
МЕДИ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАТОДОВ**

PEREVERZEV K.A.

N.M. Fedorovsky Polar State University

**THE INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS IN THE ELECTROFINING OF
COPPER ON THE PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF CATHODES**

Актуальность:

В технологии электрорафинирования меди, применяемой в ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» предусмотрено использование поверхностно-активных веществ: клея мездрового в качестве коллоидной добавки, способствующей выравниванию поверхности катода и препятствующей дендритообразованию, тиомочевину, способствующей образованию пластичных катодных осадков.

Для оценки физических свойств катодной меди (пластичность, способность к рекристаллизации при термической обработке) в соответствии с требованиями стандарта Лондонской биржи металлов (The London Metal Exchange, LME), при тестировании образцов применяется показатель удлинения медной спирали - SEN (Spiral Elongation Number). Известно, что пластичность электролитного осадка напрямую зависит от размера его кристаллов и количества примесей в его составе.

Цель работы:

Оптимизация режимов электрорафинирования меди для гарантированного обеспечения потребительских свойств.

Задачи:

1. Оценить связь между концентрацией тиомочевины в электролите и продолжительностью электролиза с размером кристаллов катодного осадка и содержанием примесных компонентов.

2. Изучить влияние крупно(мелко)кристаллической структуры катодного осадка на загрязнение примесными компонентами из электролита

Методы исследования:

1. Лабораторные исследования проводились при расходе тиомочевины от 0 до 100 г/т и длительности времени электролиза от 10 до 96 часов.

2. Методы математической статистики для обработки результатов исследований.

В результате проведенных исследований построены зависимости:

- размера кристалла от удельного расхода тиомочевины и продолжительности электролиза;

- величины показателя спирального удлинения от удельного расхода тиомочевины и содержания примесей в катодной меди.

Получение мелкокристаллической структуры должно способствовать минимальной заботке примесных компонентов из электролита, однако при этом отмечено недопустимое содержание примесей в катодной меди и снижение величины показателя спирального удлинения до критических значений.

Это можно объяснить определяющей ролью тиомочевины при увеличении содержания серы в медных катодах за счет образования сульфидов меди и включения их в катодный металл.

Выводы: Установлено, что

1. Плотный катодный осадок с минимальным размером кристалла (10 мкм) получен при максимальных значениях расхода тиомочевины (100 г/т) и продолжительности электролиза (96 часов).

2. Мелкокристаллическая структура приводит к:

а) увеличенному содержанию примесей в катодной меди.

б) ухудшает показатель спирального удлинения до критического значения.

Список литературы:

1. А.И.Левин «Электрохимия цветных металлов», г. Москва «металлургия» 1982
2. Баймаков, Ю.В. , Электролиз в гидрометаллургии/ Журин, А.И. – М.: Metallurgia, 1977. - 334 с.
3. Кубасов, В.Л. Электрохимическая технология неорганических веществ/ -М.: -Химия, 1989. – 255 с.
4. Nesterov, N. Bombach, H. and Stelter, M. “Effectiveness of inhibitors and activators in copper electrorefining”, Proceedings EMC Congress 2001 Freidrichshafen, Vol. 1, 121-130.
5. Kammel, R. Landau, U. and Mayer, M. “Entstehung von unebenen Kupferniederschlagendurch organische Badzusätze” , Vol. 36. 1983. 465-471.

Научный руководитель: к.х.н., доцент Е.В. Салимжанова

ПИРОГОВА Н.А.

Санкт-Петербургский горный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ОКИСЛЕНИЯ ГРАФИТИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ

PIROGOVA N.A.

Saint Petersburg Mining University

INVESTIGATION OF THE OXIDATION MECHANISM OF GRAPHITE ELECTRODES OF METALLURGICAL UNITS

В настоящее время углеродные материалы находят масштабное применение в различных отраслях промышленности, при этом наиболее широкое их использование приходится на металлургию, где они используются в качестве электродов дуговых и руднотермических печей, а также электролизеров для получения алюминия и магния. Треть всего объема стали получают в дуговых печах, которые отличаются высоким качеством продукции. Энергоэффективность таких агрегатов обеспечивается высокой удельной мощностью, что обуславливает необходимость применения электродов марки УНР, получаемых на основе игольчатого кокса [1]. Затраты на электроды данной марки могут составлять до 8-10% от себестоимости стали. По причине закрытия ряда

мощностей по производству кокса в Китае существенно увеличились затраты на электроды, что повысило актуальность задачи повышения их срока службы.

Основные причины расхода электродов связаны с двумя наиболее значимыми факторами – окисление и механические разрушения. Причем окислительные процессы оказывают большее влияние на изменение поверхности электрода, что влечет за собой его последующее механическое растрескивание из-за дефектов структуры [2].

Задачей для экспериментальных исследований явилась оценка кинетики окисления графита на образцах марки УНР. Анализ механизмов окисления проводился на образцах кубической формы с ребром длиной 40 мм при варьировании воздушного потока и температуры в интервале от 700 до 1200 °С, что соответствует условиям эксплуатации электродного графита в дуговых печах [3,4]. Выбранная форма образцов позволяла учитывать морфологию их поверхности.

Эксперименты проводили на разработанной экспериментальной установке, которая представляла собой печь сопротивления с цилиндрической камерой внутри, закрытой с верхнего торца. Образец графита помещался в камеру на штوك, внутри которого была размещена регулирующая термопара. Через рычаг шток соединялся с весовым тензодатчиком, данные об изменении массы с которого регистрировались в автоматическом режиме. Сверху в камеру через змеевик подавался регулируемый поток воздуха.

При обработке полученных экспериментальных данных рассчитывали скорость окисления $v_{o,уд}$, как удельную потерю массы $\Delta m_{уд}$ с единицы поверхности S_n в единицу времени t (уравнение 1). Площадь поверхности определяли, как функцию от массы образца при известной кажущейся плотности образца $\rho_{каж}$, исходя из предположения, что геометрическая форма образца в процессе окисления сохраняется.

$$v_{o,уд} = \frac{\Delta m_{уд}}{S_n} \cdot t. \#(1)$$

Функциональная зависимость скорости окисления образцов от времени для каждого участка, соответствующего постоянному расходу воздуха, может быть аппроксимирована линейной зависимостью, свободный член в уравнении которой и будет характеризовать данную величину. Полученные экспериментальные данные могут быть описаны уравнением равномерно сжимающейся сферы, прогнозирующей расход электрода в производственных условиях. Обратная величина коэффициента угла наклона линеаризованных прямых показывает время до полного сгорания образцов. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты обработки экспериментальных данных оценки зависимости скорости окисления от температуры

Температура опыта, °С	Скорость окисления, г/(мин·м ²)	Коэффициенты в линеаризованном уравнении равномерно сжимающейся сферы		Модельное время полного сгорания образца, ч
		a	b	
700	31,4	0,1386	-628,75	20,04
800	55,8	0,2909	-516,55	9,55
900	60,1	0,3402	-232,95	8,17
1000	69,2	0,3696	-384,24	7,52
1100	80,4	0,3934	-499,59	7,06
1200	92,5	0,4472	-3128,71	6,21

Построение данных в координатах Аррениуса (рисунок 1) позволило определить энергию активации процесса, составившей 17,36 кДж/моль. По полученной величине можно судить о том, что процесс окисления образцов графита лимитируется диффузионной стадией.

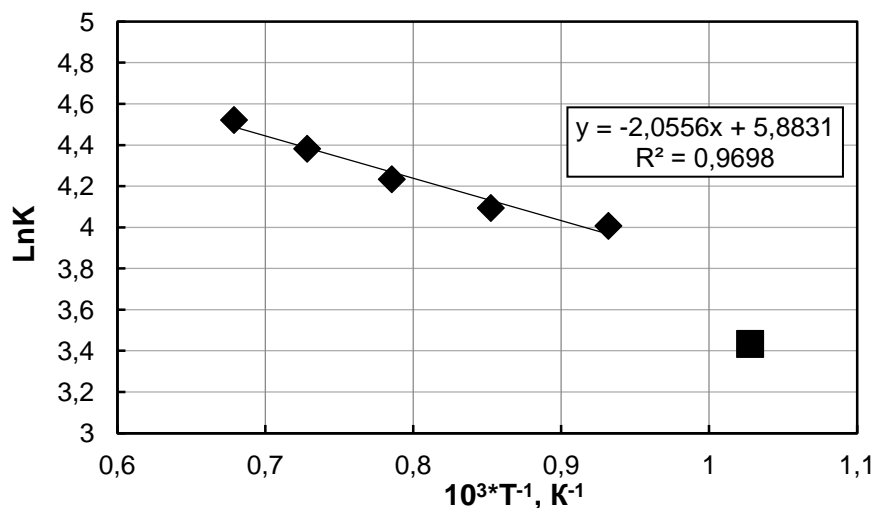


Рисунок 1. Зависимость расчетных скоростей окисления образцов электродного графита в «Аррениусовских» координатах, где 1 – значения, характерные для диапазона температур 800 – 1200 °С, 2 – 700 °С

Выпадение точки, соответствующей 700 °С, объясняется тем, что при данной температуре окисление зерен – первичного игольчатого кокса практически не происходит, в отличие от первичного связующего, после выгорания которого происходит выкрашивание зерен.

Разработанную модель равномерно сжимающейся сферы можно использовать в металлургических процессах для прогнозирования скорости выгорания конструкционных и электродных материалов на основе графита. По построенной кинетической модели возможно спрогнозировать поведение крупногабаритных изделий из искусственного графита в высокотемпературных окислительных условиях технологических аппаратов.

Список литературы:

1. Rafiei, R., Kermanpur, A., & Ashrafizadeh, F. (2008). Numerical thermal simulation of graphite electrode in EAF during normal operation. *Ironmaking & Steelmaking*, 35(6), 465-472.
2. Odenthal, H.J., Kemminger, A., Krause, F., Sankowski, L., Uebber, N., & Vogl, N. (2018). Review on modeling and simulation of the electric arc furnace (EAF). *steel research international*, 89(1), 1700098.
3. Moghadam, H.A., Jabbari, M., Daneshmand, S., Jazi, S.R., & Khosravi, A. (2021). Effects of TiO₂/SiC/SiO₂ coating on graphite electrode consumption in sublimation and oxidation states as determined by EAF simulation and experimental methods. *Surface and Coatings Technology*, 127340.
4. Guo, W.M., Xiao, H.N., & Zhang, G.J. (2008). Kinetics and mechanisms of non-isothermal oxidation of graphite in air. *Corrosion science*, 50(7), 2007-2011.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Р.Ю. Фещенко

ПИСАРЕВА А.А.

Заполярный государственный университет имени Н.М. Федоровского

**ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ МЕДНОГО КУПОРОСА ИЗ
СЕРНОКИСЛОТНОГО МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО ЭЛЕКТРОЛИТА**

PISAREVA A.A.

N.M. Fedorovsky Polar State University

**STUDY OF THE POSSIBILITY OF OBTAINING PURE SALTS OF THE
TECHNOLOGICAL VITRIOL CATEGORY FROM THE CUT-OFF
ELECTROLYTE**

Для поддержания оптимального состава электролита в процессе электрорафинирования меди и вывода примесных компонентов часть его выводят из контура на регенерацию. В настоящее время его направляют на переработку в гидрометаллургическое производство Надеждинского металлургического завода (ГМП НМЗ), что частично позволяет решить проблему переработки в ГМП низкосернистого сырья. Однако данное решение имеет отрицательные стороны, связанные с трудностью транспортировки раствора отсеченного электролита и тяжелыми погодными условиями (низкими температурами, трудной проходимостью грузового транспорта).

Целью наших исследований было определить возможность получения при переработке медного электролита товарную продукцию - медный купорос соответствующего требованиям ГОСТ 19347-2014 для марки Б «Купорос медный. Технические условия».

Медный электролит является многокомпонентной системой, содержащей три основных компонента: никель, медь, серную кислоту. Из литературных источников известно - растворимость сульфата никеля в воде при низких температурах практически в два раза выше растворимости сульфата меди, что теоретически позволяет выделить медный купорос с минимальным содержанием примесей. Для проведения наших исследований использовали модельный раствор, аналогичный по составу реальному сульфатному медно-никелевому электролиту, г/дм³: медь ~ 52; никель ~23; серная кислота ~ 160-170.

Схема проведения опытов включала последовательное выполнение следующих операций: упаривание при температуре 80-90 °С расчетного количества исходного раствора (с периодическим контролем массы) до получения объема упаренного раствора с заданной плотностью; кристаллизацию при заданной температуре первого медного купороса; растворение полученного купороса в воде и его перекристаллизацию из полученного насыщенного раствора при заданной температуре.

По результатам исследований построены зависимости осаждения сульфатов никеля и меди от температуры процесса; определены граничные параметры и условия получения чистых солей категории технического купороса, соответствующего требованиям ГОСТ 19347-99.

Методы исследования: ареометрический, титриметрический и прикладная статистика.

Определены оптимальные условия получения медного купороса. Исследования показали, что по мере возрастания степени упаривания содержание меди в купоросе

повышается от 40 до 80-88 %, при чём на показатели процесса в значительной мере оказывает воздействие исходная концентрация меди в электролите: чем концентрация меди в исходном электролите ниже, тем выше должна быть степень упаривания для достижения максимального извлечения меди из раствора.

Выводы:

На основании выполненного литературного обзора и серий экспериментов по выпарке медного электролита и кристаллизации из него медно-никелевого купороса определена возможность получения при переработке медного электролита новой товарной продукции - медного купороса соответствующего требованиям ГОСТ 19347-99 для марки Б «Купорос медный. Технические условия».

Определено, что оптимальными условиями для получения медного купороса, при концентрации серной кислоты 320–325 г/дм³, является выпарка электролита до плотности 1,45 г/см³ с последующей кристаллизацией его из раствора при 10 °С. Получаемый при этом медный купорос содержит, %: меди ~ 20,8; никеля ~ 1,5; серной кислоты ~ 5.

Список литературы:

1. Способ корректировки состава медного электролита / А. А. Жарменов [и др.] // Цветные металлы. - 1984. - №: 10. - С. 19-20. Штриплинг Л.О., Туренко Ф.П. Основы очистки сточных вод и переработки твердых отходов. Учебное пособие. Омск: изд. ОмГТУ, 2005. 192 с.
2. Экстракционные и сорбционные способы очистки медьсодержащих растворов и электролитов от мышьяка, сурьмы и висмута // Комплексная переработка растворов гидрометаллургических производств меди: обзорная информация. - М.: ЦНИИЭ Ицветмет, 1990. - С. 19-24. - (Охрана окружающей природной среды и рациональное использование природных ресурсов на предприятиях цветной металлургии; Вып. 10).
3. Регулирование содержания серной кислоты в электролите рафинирования меди / А. А. Жарменов, А. С. Мустафинова // Цветные металлы. - 1997. - №: 5. - С. 32-34.
4. Переработка загрязненного электролита с получением медного и никелевого купоросов / В.А. Козлов, С.С. Набойченко, Б.Н. Смирнов // Рафинирование меди. - М.: Металлургия, 1992. - С. 188-207.
5. Исследования по селективному извлечению меди в медный купорос из упаренного электролит текущего состава. ГМОИЦ; рук. Юрьев А.И. - 2001г.

Научный руководитель: к.х.н, доцент Е.В. Салимжанова

ТУРУЛИНА Ю.О.

Донецкий национальный технический университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ПРОХОДНЫХ ПЕЧЕЙ В НЕРАСЧЕТНЫХ УСЛОВИЯХ

TURULINA J.O.

Donetsk National Technical University

DETERMINATION OF RATIONAL PARAMETERS OF CONTINUOUS FURNACES IN NON-DESIGN CONDITIONS

Большая часть выплавляемой стали перерабатывается на горячих прокатных станах. При этом основным агрегатом для предварительного нагрева перед прокатом являются проходные печи.

В условиях стабильного роста мирового производства стали и ассортимента выпускаемой продукции наблюдается тенденция к расширению диапазона производительности печей по сравнению с проектными значениями при неизменных требованиях к качеству нагрева металла, экономии топлива и сокращению сопутствующих потерь, в связи с чем возрастает роль рационализации параметров процесса нагрева.

Целью настоящей работы является анализ существующих способов определения рациональных параметров проходных печей и обоснование необходимых дополнений в условиях изменяющейся производительности.

Рациональные параметры печи в номинальном режиме определяются на стадии проектирования. Инструментом, как правило, служит метод тепловой диаграммы Семикина И. Д. [1] либо детерминированная математическая модель [2].

С помощью методики [1] можно рассчитать продолжительность нагрева или температуру поверхности металла для заданного участка исходя из известной продолжительности нагрева.

Особенностью данной методики является невозможность однозначного определения температура уходящих газов после печи, что затрудняет процесс моделирования.

Для устранения данного затруднения предложено дополнение [3] к базовой методике, позволяющее однозначно определить температуру уходящих газов после печи при заданной производительности. Усовершенствование основано на многократном пересчете с использованием тепловых балансов таких параметров, как температура уходящих газов, среднемассовая температура металла и температура его поверхности методом последовательных приближений.

Дальнейшим развитием расчетного метода служит методика определения температурного профиля печи, при котором обеспечивается заданное тепловое состояние металла с изменением производительности прокатного стана [4]. Методика базируется на применении прямых и обратных методов расчета.

Наряду с расчетными методиками находят свое применение различные способы получения математических моделей, с помощью которых возможно непосредственное использование модели в системе управления и исследуются закономерности процесса нагрева металла в проходных печах.

Детерминированная математическая модель [2] основана на решении уравнения теплопроводности. Её применение позволяет получить заданное температурное состояние металла с учетом зависимости его теплофизических характеристик от температуры.

В связи с невозможностью осуществления непосредственно в печи постоянного инструментального контроля температурного состояния металла для проверки адекватности параметров, полученных на стадии проектирования, применяются различного рода косвенные методы. К таковым относятся замеры энергопотребления силовыми агрегатами прокатного стана, контроль температуры раската после клетей стана, измерение температуры поверхности металла на выходе из печи, термометрирование путем измерения температуры внутри прогоняемого через печь опытного сляба и пр.

Особая роль принадлежит способу термометрирования. Результаты используются как при разработке, так и на стадии адаптации или уточнения математической модели, с помощью которой осуществлялось управление процессом нагрева [2, 5-10]. В режиме реального времени происходит задание и корректировка граничных условий при изменении условий внешнего теплообмена. При устойчивой работе печи моделирование теплового состояния металла достаточно осуществлять для одной отдельной заготовки с переносом результатов на остальные.

Для нестационарного режима моделирование осуществляется одновременно для каждой находящейся в печи в данный момент заготовки. В результате прогнозируется изменение теплового состояния всех заготовок, а рациональные параметры нагрева определяются методом прострела.

Также известны способы, при которых возможно измерение температуры поверхности металла внутри печи. Такие измерения могут проводиться либо с использованием термопар [11], либо пирометров, оснащенных специальными светофильтрами и приспособлениями, позволяющими устранить систематические погрешности [12,13].

Наряду с вышеприведенными инструментами адаптации и диагностики технологических параметров предложен способ, основанный на построении моментальных тепловых балансов и позволяющий оперативно вносить необходимые корректировки по ходу ведения процесса [14]. Необходимость оперативной подстройки процесса возникает в случае рассогласованности полученных балансов.

Таким образом, сокращение энергозатрат и сопутствующих потерь при производстве продукции является одной из важнейших задач современного развития промышленности.

В прокатном производстве сосредоточены значительные резервы, реализация которых сопряжена с преодолением затруднений, связанных с нестабильностью работы отдельных предприятий в нерасчетных условиях.

Основанные на моментальных тепловых балансах алгоритм диагностики и оценка адекватности способствует оптимизации производства на печных агрегатах и позволит усовершенствовать автоматическое управление, улучшить качество продукции и снизить энергетические затраты.

Предполагается дальнейшее продолжение исследований в направлении оптимизации процесса нагрева в нерасчетных режимах работы проходных печей.

Список литературы:

1. Гусовский В.Л., Лифшиц А.Е. Методики расчета нагревательных и термических печей: Учебно-справочное издание. М.: Теплотехник, 2004. 400 с.
2. Ткаченко В.Н. Математическое моделирование, идентификация и управление технологическими процессами тепловой обработки материалов. Том 13. Киев: Наукова думка, 2008. 244 с.
3. Повышение точности определения теплового состояния металла в методической зоне проходной печи при использовании инженерных методов / А.Б. Бирюков [и др.] // Вестник Института гражданской защиты Донбасса: научный журнал. 2017. №1. С. 5-10.
4. Бирюков А. Б., Лебедев А.Н., Турулина Ю.О. Методика определения температурного профиля методической печи, работающей в условиях пониженной производительности // Сталь. 2017. № 10. С. 74-77.
5. Исследование процесса нагрева слябов в методических печах / Н.Ю. Тайц, [и др.] // Сталь. 1974. № 7. С. 653-655.
6. Антонов В.В. Исследование нагрева металла в пятizonных методических печах // Сталь. 1970. №- 1.С. 81-84.
7. Применение ЭВМ для расчета нагрева металла в методических печах / Е.И. Казанцев [и др.] // Сталь. 1973. №1. С.77-79.
8. Совершенствование тепловой работы нагревательных печей станов горячей прокатки / А.М. Беленький [и др.] // ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2015. №2. С.62-69.
9. Улановский А.А., Тааке М. Контроль высокотемпературной термообработки стального проката // Сталь. 2008. №11. С. 114-118.
10. Денисов, М. А. Автоматизированное проектирование в ANSYS и КОМПАС-3D: учебное посо-бие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-га, 2015. 264 с.
11. Денисов М. А. Разработка и применение методов теплофизического исследования резервов ресурсосбережения в процессах нагрева металла: дис. ... докт. техн. наук: 05.16.02. Уральский государственный университет – УПИ. 2005. 369 с.
12. Определение качества нагрева металла в нагревательных печах / Б.Н. Парсункин [и др.] // Сталь. 1989. №11. С. 104-107.
13. Самонастраивающаяся система для управления тепловым режимом методических печей. / Б.Н. Парсункин [и др.] // ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 1970. №4. С.39-41.
14. Бирюков А.Б., Иванова А.А. Диагностика температурного состояния металла при его тепловой обработке в печах непрерывного действия // Металлург. 2018. № 4. С. 33-37.

Научный руководитель: д.т.н., профессор А.Б. Бирюков

**НОВЫЕ ПРИНЦИПЫ ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ ПОРФИРОВЫХ
CU-MO РУД НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИСКУССТВЕННОГО
ИНТЕЛЛЕКТА**

IAKOVLEVA T.A.
Saint Petersburg Mining University

**NEW PRINCIPLES OF FLOTATION ENRICHMENT OF PORPHYRY CU-MO
ORES BASED ON DIGITAL TECHNOLOGIES AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

В данной работе производится оценка работы предприятия, перерабатывающего медно-молибденовые порфировые руды месторождения Нурказган, с помощью математико-статистических методов для анализа получаемых данных.

Актуальность исследования.

В большинстве случаев оценка работы обогатительных предприятий осуществляется при помощи стандартных методов опробования. Данная методика выявления проблем является новой и используется крайне редко.

Методы исследования.

Сбор информации о работе предприятия за период январь-июнь; построение сменных массивов; построение гармоник

Основная часть.

В данной работе рассматривается работа предприятия, перерабатывающего медно-молибденовые порфировые руды месторождения Нурказган. Для оценки работы предприятия за полугодовой период январь-июнь 2021 г. составлен сменный массив исходных данных в количестве 499 наблюдений. В ходе оценки сменного массива построенного на основе технологических аудитов был рассмотрен период работы фабрики за 16 часов

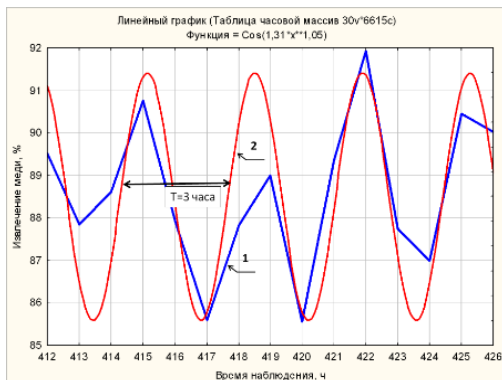


Рисунок 1. Гармоники случайной функции
 $\varepsilon = f(\tau)$:

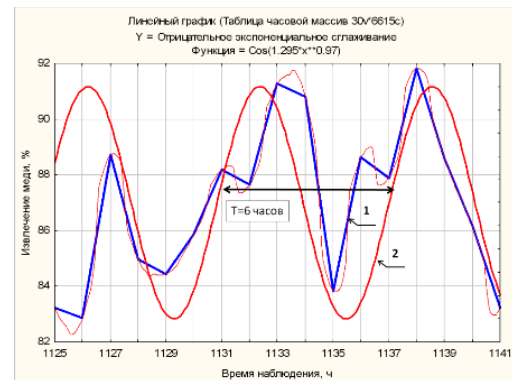


Рисунок 2. Гармоники случайной функции
 $\varepsilon = f(\tau)$:

1-фактические наблюдения извлечения меди; 2-описание гармонической составляющей фактически наблюдаемого тренда извлечения меди

1-фактические наблюдения извлечения меди; 2-описание гармонической составляющей фактически наблюдаемого тренда извлечения меди

В ходе исследования данного периода были построены гармоники случайной функции, которые позволяют сделать вывод о том, что флотационные операции можно рассмотреть, как объект имеющий гармонические колебания, которые имеют частотные характеристики. Наблюдаемая реальная кривая извлечения меди на рисунке 1 хорошо описывается косинусоидой $\cos(1.31*x**1.05)$ с периодом $T = 3$ часа и амплитудой в 5,6 % извлечения меди.

Кроме отмеченной косинусоиды на рисунке 1 выявляется вторая гармоническая составляющая случайной функции $\varepsilon = f(\tau)$ (рис. 2), описываемая косинусоидой $\cos(1.295*x**0.97)$ с периодом $T = 6$ часа и амплитудой в 8 % извлечения меди. Полученные данные амплитудных характеристик, остаются постоянными на каждом участке рассматриваемого полугодового периода январь-июнь 2021 г. Также был проведен сравнительный анализ достигаемых технологических параметров.

Выводы.

На основе проведенного исследования было выявлено, что в трехчасовой период при изменении исходного содержания в руде, поступающей на флотацию, оператор вносит коррективы в режимные параметры флотации. Колебания с периодичностью в шесть часов объясняются сложностью технологической схемы, применяемой на фабрике, и нестабильностью циркуляционных помпродуктов направляемых в голову рудного цикла.

Научный руководитель: к.т.н., доцент А.О. Ромашев

**Секция 7. ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.
ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ОХРАНА ТРУДА**

АТОЯН Р.Л.

Национальный политехнический университет Армении

**ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЗАПАСОВ РУДЫ В НЕДРАХ И СОДЕРЖАНИЯ
ЗОЛОТА В РУДНОМ МАССИВЕ ОТ ПАРАМЕТРА КОНДИЦИЙ
"МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОГО ИНТЕРВАЛА НЕКОНДИЦИОННЫХ РУД"
ДЛЯ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

ATOYAN R.L.

National Polytechnic University of Armenia

**IDENTIFICATION OF THE DEPENDENCE OF ORE RESERVES IN THE
SUBSURFACE AND THE GOLD CONTENT IN THE ORE MASSIF ON THE
PARAMETER OF THE CONDITIONS OF THE "MAXIMUM ALLOWABLE
INTERVAL OF NON-STANDARD ORES" FOR A GOLD DEPOSIT**

В работе, в качестве примера взято Соткское золоторудное месторождение, для которого была выявлена закономерность изменения запасов руды в недрах и содержания золота в рудном массиве от параметра кондиций “максимально допустимого интервала некондиционных руд”.

Актуальность исследования. Соткское золоторудное месторождение представлено 5 минерализованными зонами, оруденелой дайкой, 2 жилами и массивом-габбро.

Весьма сложными горно-геологическими условиями в основном характеризуются минерализованные зоны, где внутреннее строение очень сложное, морфометрические параметры и распределение полезных компонентов очень изменчивы и неравномерны, оруденение нередко прерывистое, мощность безрудных интервалов колеблется от 1...2 м до 30...40 м, в среднем – до 10...12 м (коэффициент рудоносности составляет от 0,13 до 1); характерна блоковая структура, обусловленная широким распространением тектонических нарушений.

В таких условиях, когда отсутствует четко выраженная закономерность пространственного расположения кондиционных или некондиционных интервалов, определяются общие контуры промышленного оруденения и статистическое распределение в нем кондиционных и некондиционных руд или пустых пород, то есть подсчет запасов полезного ископаемого осуществляется с использованием коэффициента рудоносности (K_p).

Последний зависит от количества кондиционных руд, который в свою очередь определяется с помощью параметра кондиций “максимально допустимого интервала некондиционных руд”, включенных в подсчет запасов.

Обоснование данного параметра кондиций - актуальная задача, которое предусматривает вариантный подсчет запасов месторождения при различных величинах интервала некондиционных руд, и выбор оптимального варианта осуществляется на основе сопоставления результатов технико-экономических расчетов.

Цель работы состоит в выявлении закономерности изменения запасов руды в недрах и содержания золота в рудном массиве от параметра кондиций “максимально допустимого интервала некондиционных руд”, включенных в подсчет запасов для Сотского золоторудного месторождения.

Методы исследования. На основе данных геологоразведочных работ методом горизонтальных сечений до горизонта 2180 м был произведен вариантный подсчет запасов руды и золота по подсчетным блокам и рудным телам на рассматриваемом месторождении. В качестве варианта был выбран “максимально допустимый интервал некондиционных руд”, включенных в подсчет запасов ($L_{и}, м$).

Основная часть. Произведен подсчет запасов руды (Q_p) и золота (Q_{Au}) в недрах, а также содержание золота в рудном массиве (α_{Au}) при $L_{и}=2.5 м, 5.0 м, 10.0 м, 15.0 м, 20.0 м$ и $25.0 м$, результаты которых представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты вариантного подсчета запасов руды, золота в недрах и содержания золота в рудном массиве

Максимально допустимый интервал некондиционных руд или пустых пород	Q_p , тыс. т	Q_{Au} , кг	α_{Au} , г/т
I вариант ($L_{и}=2.5 м$)	16554	111679	6,7
II вариант ($L_{и}=5.0 м$)	17504	113584	6,49
III вариант ($L_{и}=10.0 м$)	18773	116191	6,19
IV вариант ($L_{и}=15.0 м$)	20581	117399	5,70
V вариант ($L_{и}=20.0 м$)	21255	117603	5,53
VI вариант ($L_{и}=25.0 м$)	21255	117603	5,53

Результаты и направления их использования. На рис.1 представлен график зависимости Q_p от $L_{и}$.

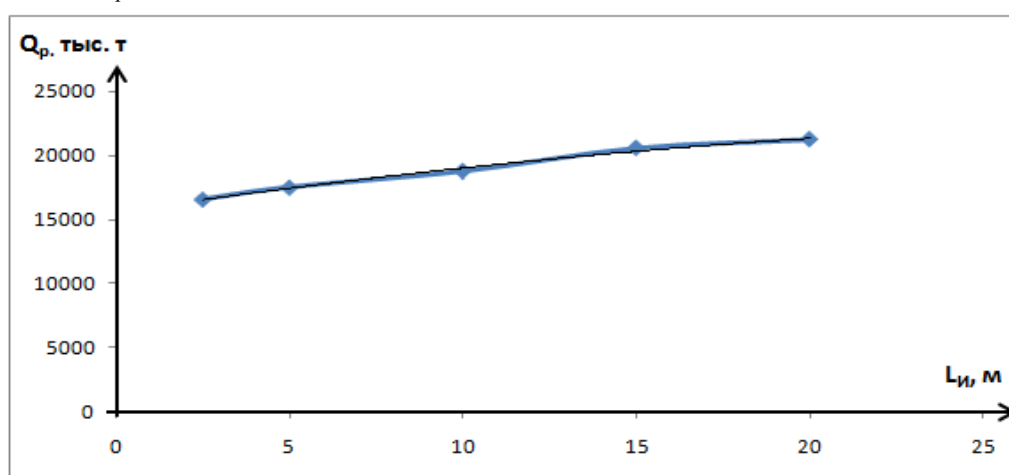


Рисунок 1. Зависимость Q_p от $L_{и}$

График зависимости Q_p от $L_{и}$ позволяет аппроксимировать следующее уравнение кривой:

$$Q_{pi} = -5,6219L_{иi}^2 + 400,81L_{иi} + 15575. \quad (1)$$

На рис.2 представлен график зависимости α_{Au} от $L_{и}$.

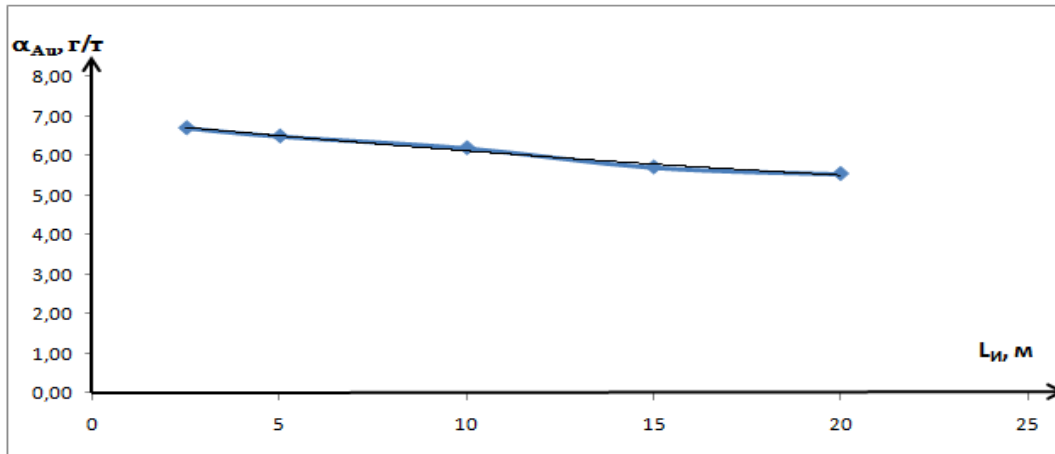


Рисунок 2. Зависимость α_{Au} от $L_{и}$

График зависимости α_{Au} от $L_{и}$ позволяет аппроксимировать следующее уравнение кривой:

$$\alpha_{Aui} = 0,001L_{иi}^2 - 0,0919L_{иi} + 6,9339 \quad (2)$$

Выявленные закономерности можно использовать при обоснование параметров кондиций для подсчета запасов руды Соткского золоторудного месторождения

Выводы. Выявление зависимости свидетельствуют о том, что при увеличении значения параметра кондиций “максимально допустимого интервала некондиционных руд” приводит к росту запасов руды в недрах со снижением содержание золота в рудном массиве и наоборот.

В последующем намечается выбор оптимального варианта, который потребует сопоставления результатов технико-экономических расчетов.

Вариантный подсчет и графики зависимостей произведены автором.

Список литературы:

1. Оганесян А. Г. Выбор оптимальных систем подземной разработки с помощью критического коэффициента рудоносности // ВЕСТНИК ГОСУДАРСТВЕННОГО ИНЖЕНЕРНОГО УНИВЕРСИТЕТА АРМЕНИИ. – Ереван, 2012. – Выпуск 15. – N1, – С. 80–89.
2. Оганесян А. Г. Влияние коэффициента рудоносности на выбор технологии подземной добычи руды // Изв. НАН РА. Науки о Земле. – Ереван, 2003. – том LVI. – N3, – С. 60–62.
3. Հովհաննիսյան Ա.Հ., Արվերդյան Հ.Հ., Աթոյան Ռ.Լ. Հանքավայրում մետաղի բաշխվածության ազդեցությունը հանքաքարի արդյունահանման տեխնոլոգիայի ընտրության վրա // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. Տեխ. գիտ. սերիա. – Երևան, 2018. – Հ. LXXI. – N4. – էջ 420–431:

Научный руководитель: д.т.н., профессор А.Г. Оганесян

БЕЛЕХОВ П.А.

Санкт-Петербургский горный университет

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗБАВЛЕНИЯ ВЫХЛОПНЫХ
ГАЗОВ ПРИ РАБОТЕ ДВС В ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ**

BELEKHOV P.A.

Saint Petersburg Mining University

**MATHEMATICAL MODELING OF EXHAUST GASES DILUTION DURING I.C.E.
OPERATION IN UNDERGROUND MININGS**

В работе моделируется процесс разбавления выхлопных газов при эксплуатации в подземной выработке самоходного оборудования с двигателем внутреннего сгорания. Определяются границы опасных для здоровья человека зон и нормы пребывания в них. Конечным результатом исследования должно стать получение показателя необходимого количества воздуха для разбавления концентраций отработанных газов до ПДК на 1 л.с. двигателя.

Актуальность исследования: Важнейшей задачей науки настоящего времени, а также одним из самых главных острых вопросов, возникающих в сфере безопасности горной отрасли, стоит вопрос о рациональном проветривании подземных горных выработок с работающим в них самоходным оборудованием на дизельном ходу. Отработанные газы, поступающие в атмосферу выработки через выхлопную трубу автомобиля, содержат в себе различные вредные и опасные для здоровья персонала вещества. Дизельный двигатель (ДВС) широко используется в подземных горных выработках из-за своей эффективности, простоте в обслуживании, надежности и относительной долговечности. Одновременно с этим, ДВС представляет существенную опасность для персонала горнодобывающих производств из-за выделения, в процессе эксплуатации, опасных газов (Угарный газ, углекислый, окиси азота) и мелких частиц, которые шахтеры могут легко вдыхать. Также дизельные двигатели потребляют большое количество O_2 , что нередко приводит к недостаточному обеспечению рабочих O_2 .

Цели и методы исследования: Определение расстояния разбавления выхлопных газов от места их выброса при работе двигателя внутреннего сгорания в действующих горных выработках при помощи программного обеспечения ANSYS Inc, а именно модуля газодинамики CFX-Pre.

Основная часть. Эксплуатация самоходного оборудования с двигателями внутреннего сгорания на горнодобывающих предприятиях сопровождается выделением в рудничную атмосферу выхлопных газов, содержащих ядовитые примеси: окись углерода, окислы азота, альдегиды, сажа и др. Обеспечение нормативных концентраций загрязняющих веществ в рудничном воздухе достигается подачей в горные выработки, где эксплуатируются машины с ДВС, необходимых количеств свежего воздуха. В качестве показателя для его вычисления обычно принимается объемный расход воздуха в единицу времени на л.с. установленной мощности двигателя Q ($m^3/мин$ на л.с.). Значение этого показателя зависит от многих факторов, основными из которых является удельная величина выбросов загрязняющих веществ, определяемая экологическим стандартом ДВС, и эффективностью газоочистки

выхлопных газов. Новые Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твёрдых полезных ископаемых», введённые в действие в приказом Ростехнадзора от 08.12.2020 № 505, регламентируют необходимость обеспечения горных выработок с работающими в них машинами с ДВС, содержание кислорода в воздухе не менее 20% (по объёму) и содержание вредных примесей в исходящей струе ниже предельно - допустимых концентраций, установленных ПБ. Однако, несмотря на введение новых ПБ, вопрос, когда должны быть разбавлены выхлопные газы, поступающие из выхлопной системы, не регламентируются. Кроме того, актуальным является вопрос распределения концентраций выхлопных газов по сечению горной выработки. Ответить на эти вопросы возможно с помощью математического моделирования процесса разбавления выхлопных газов при работе ДВС в подземных горных выработках.

Для исследования поставленных задач средствами вычислительного моделирования задавались следующие параметры (длина, ширина, высота, площадь сечения горной выработки; расход воздуха, температура свежей струи); параметры работы ДВС (расход и концентрация выхлопных газов). Объект исследования представляет собой свободный объём горных выработок и камер СДО, в котором рассматривается движение и теплообмен воздушных потоков при различных условиях работы ДВС. Рассматриваемый свободный объём ограничен кровлей, почвой и боками горной выработки.

Результаты.

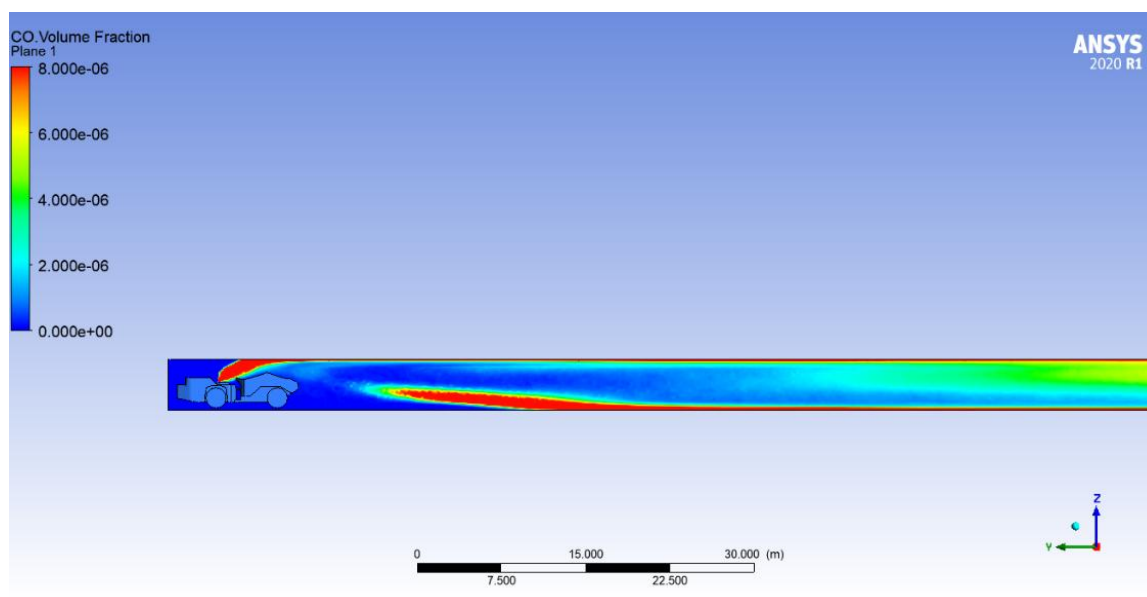


Рисунок 1. Распределения выхлопных газов по сечению горной выработки.

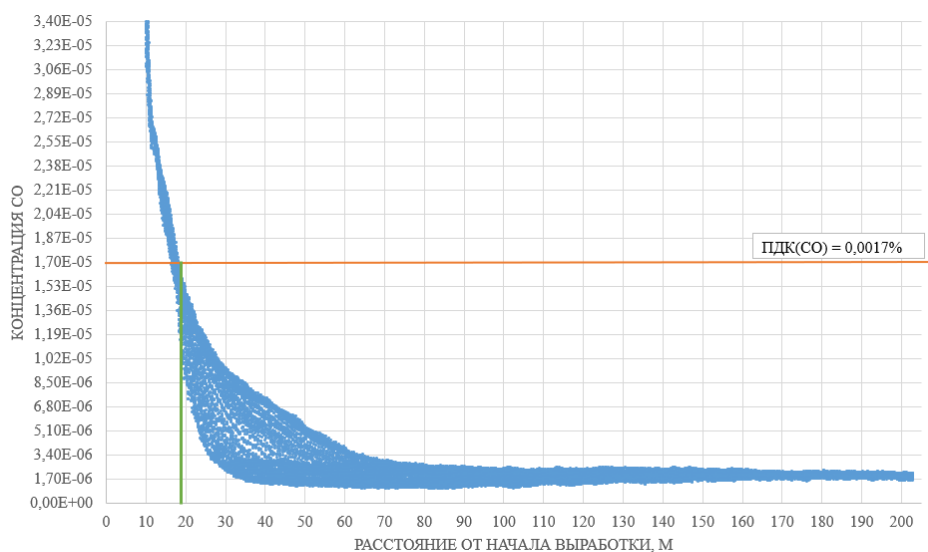


Рисунок 2. Динамика разбавления и границы опасных зон для газа СО.
Оранжевая горизонтальная линия - ПДК системы, **Зелёная** вертикальная – завершение разбавления до ПДК

Таблица 1. Результаты моделирования распределения выхлопных газов ДВС в горной выработке

№п/п	Наименование места	Измеряемый компонент	Концентрация по результатам моделирования, %
1	Выхлопной тракт	СО	0.03(гранич. усл.)
		NO _x	0.02(гранич. усл.)
2	Сечение 0 м от ПДМ	СО	макс. 0.00260 сред. 0,00031
		NO _x	макс. 0.00130 сред. 0,00016
3	Сечение 35 м от ПДМ	СО	макс. 0.00174 сред. 0,00063
		NO _x	макс. 0.000865 сред. 0,000315
4	Сечение 75 м от ПДМ	СО	макс. 0.00132 сред. 0,00066
		NO _x	макс. 0.00069 сред. 0,00033

Выводы. Для рассматриваемой модели самоходной подземной горной техники МТ-42 с расположением выхлопного тракта позади машины были определены расстояния разбавления выхлопных газов, границы опасных и вредных для здоровья персонала зон. А также рассчитана концентрация токсичных газов по всей длине выработки.

Гендлер С.Г. профессор кафедры безопасности производств – руководство исследовательской работой.

Серёгин А. С. доцент кафедры безопасности производств – получение исходных данных, апробация материала, моделирование.

Белехов П. А. стажёр исследователь – моделирование, анализ результатов, построение зависимостей.

Список литературы:

1. «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твёрдых полезных ископаемых» // Приказ от 8.12.2020 номер 505 // <https://docs.cntd.ru/document/573156117>
2. Амосов, П. В. Результаты численного моделирования аэродинамики тупиковых выработок при беструбном способе проветривания // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. – 2020. – Т. 2. – С. 114-117. (2 цитирований)
3. Park J., Park S., Lee D. K. CFD modeling of ventilation ducts for improvement of air quality in closed mines. Geosystem Engineering. 2016, vol. 19, no. 4, pp. 177-187. DOI: 10.1080/12269328.2016.1164090.

Научный руководитель: к.т.н., доцент А.С. Серёгин

БОРОВИКОВ Д.О.

Санкт-Петербургский горный университет

**УЧЕБНЫЕ МОДУЛИ ДЛЯ РАБОТНИКОВ КАК ОСНОВА ПРИОРИТЕТНОГО
НАПРАВЛЕНИЯ СНИЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА НА
УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ**

BOROVIKOV D.O.

Saint Petersburg Mining University

**TRAINING MODULES FOR EMPLOYEES AS A BASIS FOR PRIORITY IN THE
REDUCTION OF INDUSTRIAL INJURIES IN COAL SECTIONS**

В России за последние годы можно заметить тенденцию по снижению травматизма, что подтверждается ежегодными заключениями федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, тем самым показывая, что на горных предприятиях проводится анализ происходящих случаев травмирования людей с предложением мероприятий по улучшению производственной обстановки. Тем не менее, на сотрудников все еще продолжают действовать различные факторы профессионального риска, что убедительно подтверждает необходимость решения данной проблемы.

Основываясь на собственных исследованиях по совершенствованию системы управления промышленной безопасностью и охраной труда, благодаря которой можно добиться снижения производственного травматизма не просто избавившись от риска, как наиболее простого и очевидного, но не самого рационального способа решения, а путем адаптации (контролирования) рисков, возникающих при постоянно меняющихся технических и горно-геологических условиях.

На основе детального анализа карт оценки профессиональных рисков была выявлена основная причина травматизма на одном из действующих угольных разрезов России. Данной причиной является личная неосторожность работников предприятия.

Таким образом, становится ясно, что работать следует не с машинами и механизмами, качество которых удовлетворяет современным стандартам качества и надежности, а с персоналом, как основной причиной травматизма.

Подтверждение таких суждений можно увидеть в работе К.В. Кулецкого, М.Л. Рудакова и О.М. Большуновой [1], в которой проведен статистический анализ производственного травматизма при ведении открытых горных работ по добыче угля. Фигурирующей причиной травматизма является человек, обладающий малым стажем работы по профессии, который не достигает в общей практике и 5 лет. Авторы предлагают интегрировать механизм наставничества как обязательную составляющую трудового процесса, выделяя при этом несколько моделей, сопровождающихся описанием преимуществ и недостатков, а также возможность применения каждой из моделей.

В.А. Галкин, А.В. Ошаров и О.В. Воробьёва в своем исследовании [2] утверждают, что «решающее значение в обеспечении жизнеспособности и конкурентоспособности» предприятия также играет человеческий фактор. Авторы, считая, что развитие персонала будет способствовать укреплению безопасного режима функционирования предприятия, предложили использование матриц функциональных характеристик персонала. Данные матрицы позволят выявить деловые качества персонала, как "мотивация", "квалификация" и "ответственность". Такой подход может положительно дополнить подход с организацией наставничества на всех рабочих местах, ведь таким образом на роль наставника будут назначаться лица, не просто имеющие большой стаж работы, а лица, обладающие подходящими для этого навыками.

Занимаясь анализом литературных источников можно увидеть, что компании минерально-сырьевого сектора имеют различные представления о работе с персоналом, однако нет единого системного подхода к работе с сотрудниками, способствующего повышению качества условий труда и снижению производственного травматизма. Подтверждением этого является статья О.В. Виноградовой [3], в которой автор заостряет внимание на том, что добиться требуемого уровня безопасности получится только путем мотивации и заинтересованности самого сотрудника создавать и работать в безопасных для него условиях.

Итак, вне зависимости от наличия технических и технологических причин, в настоящее время следует делать акцент на разноплановую и многоуровневую работу с персоналом.

Перечень подходов в этом направлении весьма разнообразен, но наиболее значимыми следует считать: повышение квалификации сотрудников, в частности, путем их подготовки на основании разработанных авторами *учебных модулей*; дополнительное образование и систему наставничества на всех рабочих местах, что будет способствовать достижению требуемого уровня безопасности и эффективности производства.

Список литературы:

1. Кулецкий К.В. Наставничество на угледобывающих предприятиях: перспективы в области охраны труда / Кулецкий К.В., Рудаков М.Л., Большунова О.М. // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2021. – Т. 9 – С.145–158.
2. Галкин В.А. Персонал горнодобывающего предприятия - решающий фактор повышения безопасности и эффективности производства / Галкин В.А., Ошаров А.В., Воробьёва О.В. // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2015. – С.225–237.
3. Виноградова О.В. Роль персонала в обеспечении безопасности на угледобывающих предприятиях / Виноградова О.В. // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2021. – Т. (2-1) – С.64–76.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Е.Б. Гридина

ГРЕЙС БУЗ М.
Мапонский университет
БУКАСА ПИТЧУ М.
Университет Намибии

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА КАРЬЕРЕ КОВ

GRACE BOOSE M.
Mapon University
BUKASA PITCHOU M.
University of Namibia

OPTIMIZATION OF BLASTING PARAMETERS AT KOV OPEN PIT MINE

Fragmentation using explosives is the first step in the industrial process of ore extraction and in particular the first process in the chain of particle size reduction. After blasting in the KOV mine, we have observed that only about 70% of the fragments had the allowable size for the primary crusher. Thirty percent constituted mound feet and particles larger than 900mm (the size of the openings of the primary crusher) and required secondary blasting thus causing not only additional costs but also loss of time. The reasons for these poor blasting results could be either poor execution of the operation by field workers or non-optimal design of the drill and blast parameters. The blasting process is not only a performance lever for the mineral extraction cycle but also a cost center; reconciling the two points today remains a delicate art [1]. The ideal blasting parameters design should produce fragmentation closely matched to that required for optimal subsequent operations and reduce the need for secondary blasting [2]. Mastery of blasting will make it possible both to limit the costs generated by the operation in itself (drill and blast) and to obtain a fragment size suitable for downstream operations (loading, hauling and crushing) [3].

The main goal of this work was to design the blasting geometrical parameters that, without requiring an excessive specific consumption of explosive, should lead to obtaining a blasted pile whose fragments would present a particle size distribution required for the optimality of the loading, hauling and primary crushing operations. To achieve this goal, we used the Kuz-Ram fragmentation model that we implemented in MS Excel software to evaluate the particle size distribution of the fragments and the performance indicators of blasting. The first performance indicator taken into account in this work is the specific consumption of explosive (a very high value would generate high drill and blast costs and a very low value will not allow good fragmentation). The second one is the Rosin-Rammler uniformity index (for a high value, the blasted pile is very uniform and leads to good performance of loading and hauling operations, while for a low value, there are many large blocks and fines). The last is the rate of admissibility of fragments into the primary crusher (the size of about 80% of fragments blasted must be smaller than the size of the openings of the primary crusher). Table 1 below shows the results obtained by a sensibility analysis based on the variation of the hole diameter (D) that involving the variation of the other parameters : burden (B), spacing (S), over drilling (OD), stemming height (SH), specific consumption of explosive (q), Rosin-Rammler uniformity index (n) and the rate of admissibility of fragments into the primary crusher (AR).

Table 1: Results of the optimization process

Optimization tests	Blasting geometrical parameters					Performance indicators		
	D (mm)	B (m)	S (m)	OD (m)	SH (m)	q (kg/m ³)	n	AR (%)
Initial design	251	6.4	7.4	0.5	5.3	0.66	1.21	73.7
1	251	6.2	7.1	0.7	5.4	0.72	1.26	77.6
2	228	5.9	6.8	0.7	4.8	0.73	1.39	81
3	200	5.5	6.3	0.7	4.3	0.70	1.50	83.1
4	171	5	5.8	0.7	3.7	0.66	1.63	85.5
5	165	4.8	5.5	0.7	3.6	0.69	1.65	87.5

The fourth test is the optimal design. Considering the blasting geometrical parameters of the fourth test, performance indicators are improved. In fact, the specific consumption of explosive is not only equal to that defined by the company but also not excessive, the Rosin-Rammler uniformity index increases by 35% and the rate of admissibility of fragments into the primary crusher increases by 12%. Figure 1 compares the parameters designed by the company and those that we estimate are optimal; Figure 2 compares the performance indicators for these two designs.

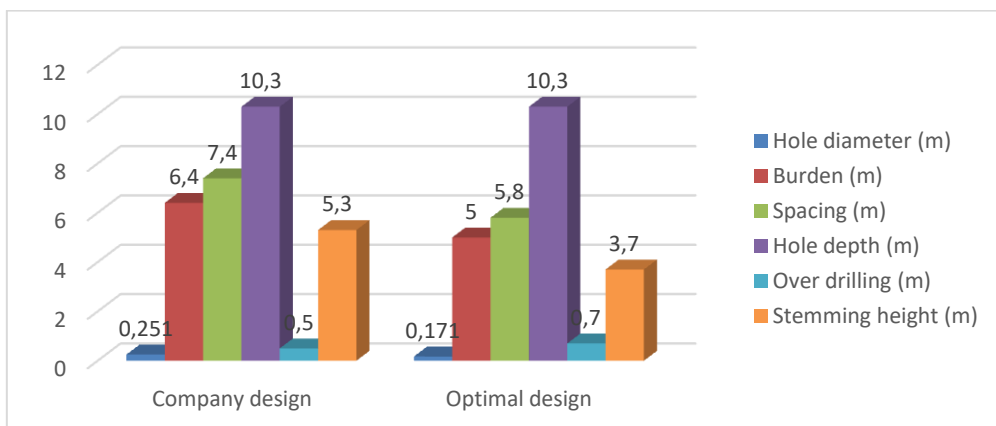


Figure 1. Comparative histograms of blasting geometrical parameters

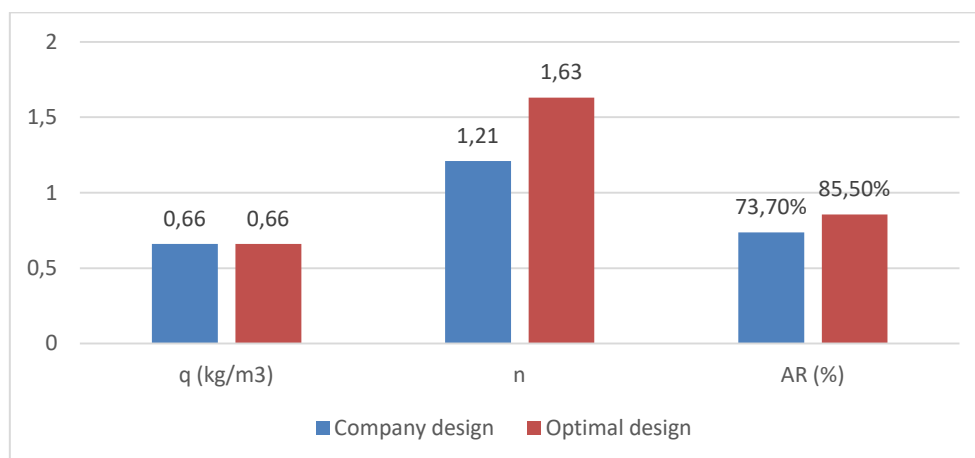


Figure 2. Comparative histograms of performance indicators

Therefore, we recommend to the company to consider the blasting geometric parameters of the fourth test in order to guarantee an efficient blasting, hoping not only to limit the cost of drill and blast operations but also to obtain the blasted pile whose fragments will present the granulometry distribution required for better performance of loading, hauling and crushing operations. Diameter: 171mm; burden: 5m; spacing: 5.8m; over-drilling: 0.7m; tamping height: 3.7m and the same value of the hole depth planned by the company: 10.3m.

List of references:

1. Chohri, H. (2019). Determination of the rational parameters of the blasting plan: case of the Kef Essnoun deposit. Amar Laskri-Annaba University.
2. Delille, F. (2012). Researched a charge-by-charge fragmentation prediction for pit blasts. National School of Mines of Paris.
3. Coulombes, C. (2007). Analysis and optimization of blasting practices in an aggregate quarry. National School of Mines of Paris.

Supervisor of studies: Ph.D. Mining Engineering, Senior Lecturer Pitchou M. Bukasa

ГЕТМАНОВА А.Р.

Санкт-Петербургский горный университет

**ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ
ОБВОДНЁННЫХ ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

GETMANOVA A.R.

Saint Petersburg Mining University

**SUBSTANTIATION OF THE CHOICE OF AN EFFECTIVE TECHNOLOGY FOR
THE DEVELOPMENT OF WATERED SAND AND GRAVEL FIELD**

В работе рассмотрены наиболее распространенные технологии разработки обводнённых песчано-гравийных месторождений, предложена методика выбора добычного оборудования в зависимости от содержания гравийной составляющей в полезной толще.

Актуальность работы определяется необходимостью оптимизации технологических процессов на карьерах строительного минерального сырья в условиях роста цен на технологическое оборудование, энергоресурсы, а также ставок арендных платежей.

Методы исследования заключаются в системном анализе состояния строительной отрасли в сфере добычи нерудных полезных ископаемых Московской области, оценке парка современного горного оборудования, технико-экономических расчётах эффективности предлагаемых решений.

В настоящее время около 60% песчаных и песчано-гравийных месторождений полностью или частично обводнены [1]. При этом степень обводнённости и гранулометрический состав полезной толщи оказывают решающее влияние на экономическую эффективность работы горнодобывающего предприятия.

Разработка месторождений имеющих обводнённые запасы песчано-гравийных пород обычно производится с разделением запасов на сухую и обводнённую части.

Отработка сухой толщи обычно производится экскаваторно-автомобильным комплексом оборудования. Оработка обводнённой части запасов, в основном, – гидромеханизированным способом с применением землесосных снарядов. В некоторых случаях используются гидравлические экскаваторы типа обратная лопата, оснащённые стандартным или удлинённым оборудованием (стрела и рукоять), в меньшей степени применяются экскаваторы-драглайны.

Стабильно высокий спрос на строительное сырьё в московском регионе, главным образом на песок и щебень, и относительно невысокий порог вхождения в бизнес привели к формированию развитого рынка услуг в сфере разработки и доставки нерудных материалов. В настоящее время действует порядка 350 лицензий на освоение месторождений песчаных пород, 77 из которых отличаются высоким содержанием гравия (из них 63 в непосредственной разработке).

Разработка указанных песчано-гравийных месторождений осуществляется следующими способами:

- средствами гидромеханизации (при помощи землесосных снарядов) – 25;
- экскаваторным способом (экскаваторами типа драглайн) – 10;
- экскаваторным способом (гидравлическими экскаваторами) – 28.

При этом необходимо отметить, что из 28 разрабатываемых гидравлическими экскаваторами месторождений 8 не обводнены, а на оставшихся 20 по состоянию на 01.01.2022 г. разработка осуществляется выше уровня грунтовых вод, соответственно выбор дальнейшей технологии производства работ является насущной задачей.

Выбор технологии производства работ по обводнённой толще предлагается осуществлять на основе сравнения производительности добычного оборудования. В качестве исходных данных были приняты рабочие характеристики современных моделей отечественной техники [2, 3, 4, 5], общепринятые методики расчёта производительности оборудования различного типа [6, 7], гранулометрический состав полезной толщи [8].

По результатам поведённого анализа для карьеров выделены 2 группы оборудования. Основным признаком отнесения является среднесменная производительность. Внутри каждой группы были установлены области эффективного использования оборудования различного типа.

В результате произведённых расчётов установлено, что с увеличением содержания гравия в породе происходит следующее:

- при применении комбинированной технологии с использованием земснаряда и гидравлического экскаватора производительность карьера по полезному ископаемому снижается на 25-50%;
- при использовании экскаватора типа драглайн снижение производительности незначительно и составляет 5-7%.

При этом в начале интервала исследования совокупная производительность по комбинированной технологии превышает производительность драглайна, а в период с 15% до 30% (в зависимости от мощности земснаряда) начинает ему уступать. Таким образом установлены области эффективного применения рассмотренных технологий.

Расчёт основных технико-экономических показателей разработки произведён для песчано-гравийного месторождения (содержание гравия в породе составляет 30%), расположенного на территории Московской области. Промышленные запасы полезного ископаемого составляют порядка 25,0 млн. м³, годовая производительность – 1,0 млн. м³

В качестве технологического оборудования приняты:

- по технологии №1 – земснаряд Д-110/47-И-2-2-1 (2 ед.), гидравлический экскаватор Кранэкс ЕК 400 с ковшом емкостью 1,9 м³ (1 ед.);
- по технологии №2 – экскаватор-драглайн ЭДГ 8.55 с ковшом емкостью 8,0 м³.

Расчетная себестоимость добычи полезного ископаемого в 1-ом случае составит 87,0 руб./м³, во 2-ом – 64,0 руб./м³. Чистая годовая прибыль составит 256,2 млн. руб. и 271,2 млн. руб. соответственно.

Выводы

С увеличением процентного содержания гравия в породе производительность карьера по полезному ископаемому при использовании в качестве основного выемочного оборудования земснаряда значительно снижается, в то время как при использовании экскаватора типа драглайн значительного падения производительности карьера не происходит. Таким образом, выбор технологии производства работ на обводненном песчано-гравийном месторождении должен осуществляться, исходя из величины процентного содержания гравия. Теоретические результаты исследования подтверждаются соответствующими технико-экономическими расчётами.

Список литературы:

1. Иванов В.В. Анализ технологических мероприятий, обеспечивающих рациональную разработку обводненных месторождений песков и песчано-гравийной смеси / В.В. Иванов, Т.С. Басов // Научнометодический электронный журнал «Концепт». – 2013. – Т. 3. – С. 2156– 2160.
2. Официальный сайт компании «УЗТМ Картэкс» – режим доступа: <https://uralmash-kartex.ru/draglajnyi>
3. Официальный сайт компании «ЭНЕРГОМАШСЕРВИС» – режим доступа: <http://www.energoms.com/singService.html>
4. Официальный сайт компании «Техразвитие» – режим доступа: <https://www.tehrzv.ru/dredger>
5. Официальный сайт компании «Кранэкс» – режим доступа: <https://www.kraneks.ru/>
6. Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий нерудных строительных материалов. ОНТП 18-85. // Л.: Стройиздат. - 1988. – с. 80.
7. Инструкция по гидравлическому расчету систем напорного гидротранспорта грунтов. ВНИИГ Б.Е.Веденеева П 59-72. // Л.: «Энергия» Ленинградское отделение – с. 30
8. Методические указания по применению. Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Песок и гравий. – Москва – 2007 – с. 41
9. Оника, С. Г. Технологический схемы разработки обводненных песчаных, гравийно-песчаных и песчано-гравийных месторождений / С. Г. Оника, Ф. Г. Халявкин, Б. С. Реберт // Горная механика и машиностроение. – 2016. – № 2. – С. 5-8.

Научный руководитель: к.т.н. доцент М.М. Якубовский

ГЛУМ Т.П., ШАНЬШЕРОВ А.В.
Санкт-Петербургский горный университет

ОЦЕНКА ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОДОРОГ НЕФТЕГАЗОВЫХ ПРОМЫСЛОВ

GLUM T.P., SHANSHEROV A.V.
Saint Petersburg Mining University

ASSESSMENT OF THE NOISE IMPACT OF ROADS OF OIL AND GAS FIELDS

Техногенные физические воздействия являются одним из важнейших негативных промышленных факторов. Они оказывают негативное влияние как на персонал, так и на окружающую среду. Одним из таких факторов воздействия является акустический. Слышимые звуковые непериодические колебания с непрерывным спектром воспринимаются как шумы. Энергия этих звуковых колебаний распределена в более или менее широкой области частот. Иногда на этот непрерывный спектр накладываются тональные звуки.

На предприятии имеется множество источников шума. Среди них есть автодороги. Шум от них исходит во время их эксплуатации. В него входит как шум от автотранспортной техники, так и, к примеру, шум от трения колёс и дорожного покрытия. Суммарная комбинация звуков считается итоговым шумовым воздействием автодороги (отобразим это простой математической моделью в формуле 1).

$$G_{sum} = G_{авт} + G_{тр}, \text{ дБ} \quad (1)$$

Проблема шумового загрязнения от автодорог на горных предприятиях является актуальной проблемой современной инженерной экологии. Это связано с тем, что предприятия имеют большую протяжённость дорог. Особенно часто такое встречается на нефтегазодобывающих предприятиях, так как они имеют большие площади разрабатываемых месторождений.

Шум от автодорог оказывает неблагоприятное влияние на окружающую среду. Он негативно воздействует на природу и людей. Эта проблема является важной для месторождений, эксплуатируемых в условиях расположения на их территории зон охраны природы, а также мест обитания коренных народов Севера.

В рамках исследовательской работы было решено рассчитать ряд шумозащитных конструкций для автодорог. По акустическим характеристикам конструкции шумозащитных экранов делят на две группы: шумоотражающие и шумопоглощающие. От первых звуковая энергия отражается в противоположную от защищаемого объекта сторону, вторые же в результате поглощения звуковой энергии не вызывают увеличения уровней звука на противоположной стороне дороги и увеличения уровней звука в салонах проезжающих автомобилей.

Было решено проанализировать оба варианта конструкций. Некоторые из них приведены на рисунке 1.

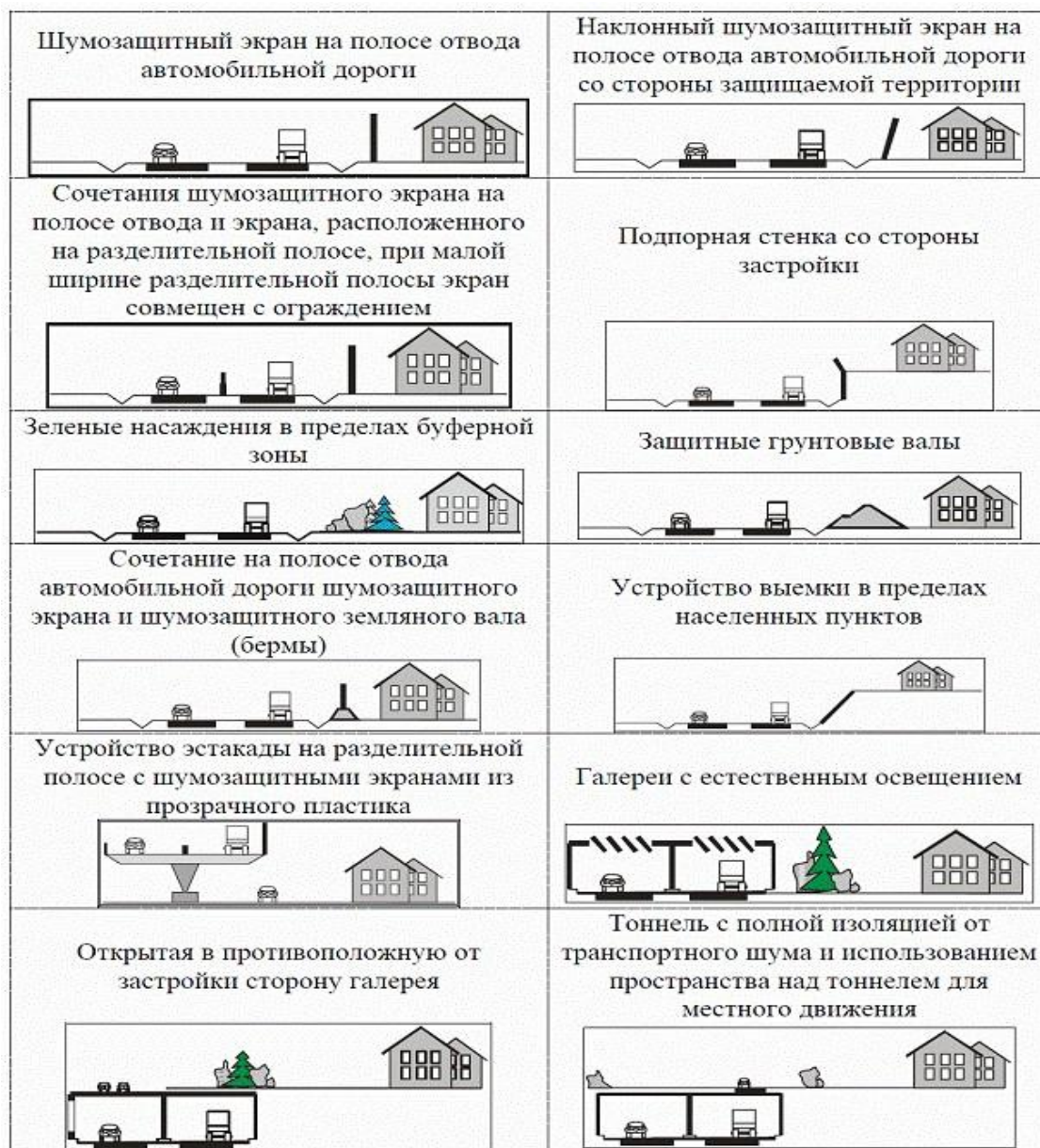


Рисунок 1. Некоторые шумозащитные конструкции [1]

Первой частью проведения работы был выбор методики расчёта. В конечном счёте был использован отраслевой дорожный методический документ ОДМ 218.8.011-2018 «Методические рекомендации по определению характеристик и выбору шумозащитных конструкций автомобильных дорог», разработанный Федеральным дорожным агентством «Росавтодор». Обоснованием выбора методики является то, что большинство предприятий закладывают на месторождениях автодороги, выполненные по общепринятым стандартам [2].

Источником нормативных значений является СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Приведём пример расчёта для автодорог одного из нефтегазовых предприятий полного цикла. Исходные данные приведены на рисунке 2.

Оценка шумового воздействия автотранспортных магистралей нефтегазовых промыслов

Интенсивность потока, авт./ч

Скорость потока, км/ч

Доля грузовых автомобилей и автобусов, %

Ширина центральной разделительной полосы, м

Продольный уклон дороги

Тип покрытия проезжей части

Рисунок 2. Исходные данные в окне программы

Результат одного расчётов для промышленных дорог одного из предприятий добычи нефти Ханты-Мансийского автономного округа приведён в таблице 1.

Таблица 1. Результат расчёта при помощи разработанной программы для ЭВМ

Результат расчёта параметров шумового воздействия и геометрических параметров шумозащитного сооружения			
$L_{a,трп} = 66.24$	$R = 7.5$	$L_{a,пок} = 0.1$	$L_{a,покрыт} = -3.62$
$L_{a,груз} = 1.8$	$L_{a,рас} = 0.0$	$L_{a,рп} = 0$	$L_{a,з} = 0.0$
$L_{a,ск} = -2.0$	$L_{a,воз} = 0.04$	$L_{a,перес} = 0$	$L_{a,tau} = 0$
$L_{a,ук} = 2.9$	$L_{a,в/т} = 0.0$	$L_{a,экв7.5} = 69.0$	$L_{a,эквРТ} = 72.5$

Например, значение $L_{a,рас}$ (снижение шума зелёными насаждениями) составило 0,0 дБА, а значение $L_{a,воз}$ (снижение шума воздушной средой) 0,04 дБА. Это говорит о том, что для снижения шумового воздействия нужно специальное шумозащитное сооружение.

Практическим результатом исследовательской работы служит версия программы на языке Python для IBMPC совместимых персональных компьютеров. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ под номером RU 2022612521 было зарегистрировано в ФИПС от 28.02.2022.

Предполагается использование программного продукта при изучении ряда профильных дисциплин на кафедре геоэкологии Санкт-Петербургского горного университета.

Список литературы:

1. Шумозащитные экраны - теория защиты от транспортного шума. Дата обращения: 22.03.2022 URL: www.sendvichpaneli.ru/likbez/173-shumozashchitnye-ekrany-teoriya-zashchity-ot-transportnogo-shuma;
2. СП 37.13330.2012 Промышленный транспорт.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Ю.Д. Смирнов

**ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ ПОЖАРОВ В УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ НА
ОСНОВЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ****GUOFU ZHANG**

China University of Mining and Technology

**LOCALIZING UNDERGROUND COAL SEAM FIRES BASED ON GEOPHYSICAL
DATA**

Xinjiang is an important energy reserve and production base in China, but it also has the worst coal fires. According to the Fifth Xinjiang Coal Fires Investigation that conducted in 2019, there are currently 40 coal fires in Xinjiang, covering a total area of 4,777,300 m², with an annual coal loss of 4,561,600 tons. The Hefeng 9# coal fire in Xinjiang has caused environmental and social issues, which must be addressed. Obtaining the exact location and scope of the fires ahead of time is critical for developing a targeted fire extinguishing plan and improving the efficiency of fire extinguishing projects.

At present, the primary methods for detecting coal fires are geophysical investigations based on various high-temperature induced geophysical anomalies such as magnetism^{[1][2][3]}, self-potential^{[3][4][5][6][7]}, electrical resistivity^{[4][8]}, and induced polarization^{[9][10]}. The magnetic method and self-potential method are the most convenient and widely used ones because they do not require the installation of dozens of electrodes in the survey area.

In this paper, magnetic method, self-potential method and electrical resistivity tomography (ERT) are adopted to detect the Hefeng 9# Coal Fire in Xinjiang, China. In general, the magnetic anomaly of clinkers, which have gone through high temperature, are orders of magnitude greater than that of virgin rocks. The contour map of the raw magnetic data, the magnetic data after the magnetic pole reduction and the magnetic data after 10 m upward continuation are obtained respectively. The distribution of magnetic anomalies is roughly parallel to the coal seam outcrop. Magnetic anomalous regions are found in the eastern, central and western regions on all three magnetic distribution maps. The effect is more noticeable in the magnetic data map after upward continuation (Fig. 1), because it successfully suppresses small-scale anomalies. The thermoelectric potential is the main cause of the abnormal self-potential observed on the surface of the coal fire zone. The contour map of self-potential data before and after upward continuation are obtained. The raw self-potential anomaly also presents a banded distribution that is parallel to the coal seam outcrop, with a larger scope in the east than in the middle. After upward continuation for 10 meters (Fig. 2), the self-potential anomaly becomes more obvious and the scope of the anomaly area is more consistent with the fire area delineated by the borehole temperature data.

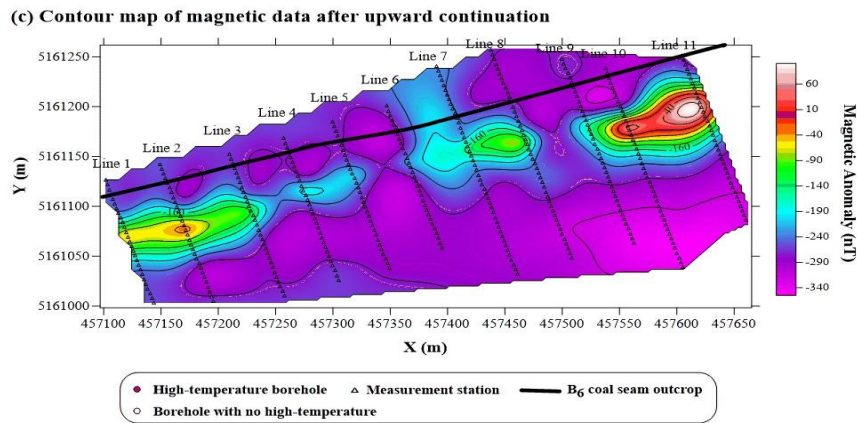


Figure 1. Contour map of magnetic data after upward continuation

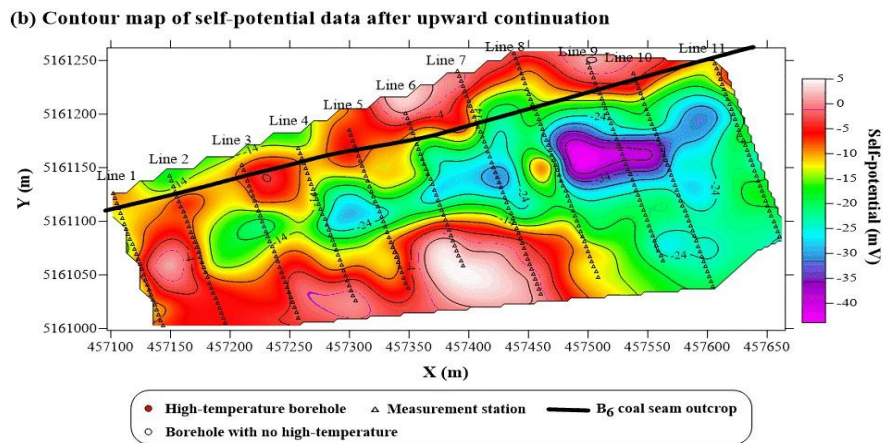


Figure 2. Contour map of self-potential data after upward continuation

In order to obtain the depth of the fire source, an inversion of self-potential data is conducted with the support of resistivity data. The resistivity profile is used to invert the self-potential data of survey line 7 in two dimensions to obtain the source current density distribution. The source current density gradually converges to the actual fire source along with the iterative inversion process. The measured self-potential data in different iterations agree well with the predicted self-potential data, which indicates that the source current density obtained by inversion accurately reflects the actual distribution of fire sources.

Fig.3 shows survey line 7's comprehensive geophysical profiles which include magnetic, self-potential, and inverted source current density data. According to the distribution of source current density, the fire source is located at 100 m, which corresponds to the trough position of the self-potential anomaly profile and the gradient zone of magnetic anomaly. The vertical position of the center of source current density also corresponds to the occurrence of the coal seam. A significant high temperature at this location is measured in boreholes during fire-extinguishing process, which is about 20 m deep. This depth is in agreement with the depth of the source current density center (21 m), manifesting that the self-potential inversion result is accurate.

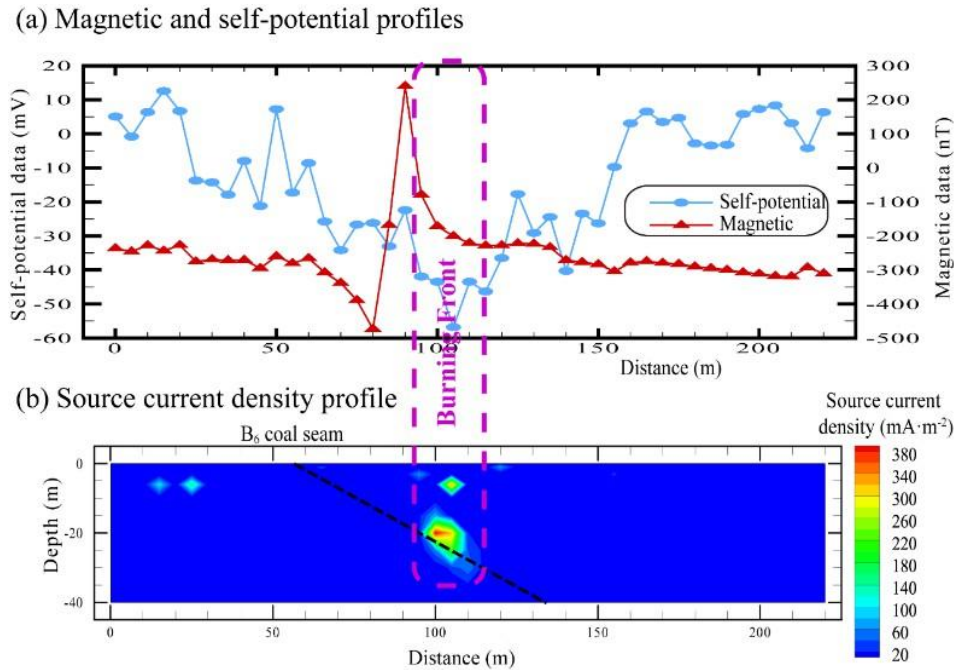


Figure 3. Comprehensive profiles of magnetic, self-potential and source current density of survey line 7

Comprehensive geophysical surveys are conducted in the Hefeng 9# Coal Fire in Xinjiang, China. Magnetic, self-potential, and resistivity data are collected and inverted (by the self-potential and resistivity data) to show the location of the fire source more precisely. Magnetic and self-potential anomalies delineate the distribution of the coal fire, which presents a strip shape parallel to the outcrop of the coal seam. Furthermore, self-potential data of survey line 7 is inverted by an iterative compaction constrained inversion algorithm with the assistance of resistivity data. The inverted fire source location, which is represented by the source current density, is consistent with field survey results. The findings are critical to determine the scope and source of underground coal fires.

Guofu Zhang: Writing - original draft, Software, Data processing. Zhenlu Shao: Writing - review & editing.

List of references:

3. Schaumann, G., Siemon, B., & Yu, C. (2008). Geophysical Investigation of Wuda Coal Mining Area, Inner Mongolia: Electromagnetics and Magnetics for Coal Fire Detection, 336–350.
4. Ide, T. S., Crook, N., & Orr, F. M. (2011). Magnetometer measurements to characterize a subsurface coal fire. *International Journal of Coal Geology*, 87(3–4), 190–196.
5. Shao, Z., Wang, D., Wang, Y., & Zhong, X. (2014). Theory and application of magnetic and self-potential methods in the detection of the Heshituoluogai coal fire, China. *Journal of Applied Geophysics*, 104, 64–74.
6. Revil, A., Karaoulis, M., Srivastava, S., & Byrdina, S. (2013). Thermoelectric self-potential and resistivity data localize the burning front of underground coal fires. *GEOPHYSICS*, 78(5), B259–B273.
7. Shao, Z., Wang, D., Cao, K., Si, W., Li, Y., & Liu, J. (2020). Treatment of smouldering coal refuse piles: an application in China. *Environmental Technology*, 41(23), 3105–3118.

8. Shao, Z., Wang, D., Wang, Y., Zhong, X., Zhang, Y., & Song, W. (2017). Experimental study of the self-potential anomaly caused by coal fires. *Journal of Applied Geophysics*, 145, 124–132.
9. Srivardhan, V., Pal, S. K., Vaish, J., Kumar, S., Bharti, A. K., & Priyam, P. (2016). Particle swarm optimization inversion of self-potential data for depth estimation of coal fires over East Basuria colliery, Jharia coalfield, India. *Environmental Earth Sciences*, 75(8), 1–12.
10. Shao, Z., Wang, D., Wang, Y., Zhong, X., Tang, X., & Xi, D. (2016). Electrical resistivity of coal-bearing rocks under high temperature and the detection of coal fires using electrical resistance tomography. *Geophysical Journal International*, 204(2), 1316–1331.
11. Shao, Z., Revil, A., Mao, D., & Wang, D. (2017). Induced polarization signature of coal seam fires. *Geophysical Journal International*, 208(3), 1313–1331.
12. Soueid Ahmed, A., Revil, A., Jardani, A., & Chen, R. (2018). 3D geostatistical inversion of induced polarization data and its application to coal seam fires. *Geophysics*, 83(3), E133–E150.

Supervisor of studies: Ph.D. Safety Engineering, Associate Professor Zhenlu Shao

ДЭНГ РОНГ

Китайский университет горного дела и технологий

**ТОЧНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ТРЕХМЕРНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ
ПОЖАРОВ В УГОЛЬНЫХ ОТВАЛАХ**

DENG RONG

China University of Mining and Technology

**ACCURATE RECONSTRUCTION OF 3D TEMPERATURE FIELD OF COAL
GANGUE PILE FIRES**

Coal gangue pile fires are caused by spontaneous combustion of coal gangue. The fires release toxic and harmful gases (such as CO, SO₂, H₂S, NO_x, HCN, etc.^[1]) that pollutes the atmosphere, discharge heavy metals (such as Hg, Pb, Sr, etc.^[2]) that aggravates the soil degradation, biodiversity loss and groundwater pollution, generate enormous heat that destroys the ground vegetation, and seriously threaten the lives and property safety of residents near the fire zones. The ultimate goal of the research of coal gangue fires is to extinguish fires, and detecting the scope of coal gangue fires is a precondition and priority.

At present, field survey^[3], borehole measurement^[4], self-potential method^[5], isotopic radon measurement^[6] and remote sensing^[7] are currently utilized to detect coal gangue pile fires. Field research and borehole measurement are simple and practicable but labor intensive, existing potential risks without the scope and burning degree of the field fires. Self-potential method and isotopic radon measurement are passive measurements that are seriously affected by the background telluric electric field and has low signal-to-noise ratio. Remote sensing can be classified into three types based on the sensors used: satellite remote sensing^[8], ground-based remote sensing^[9, 10] and aerial remote sensing^[11, 12]. However, low spatial resolution has shortage of detecting the coal gangue pile fires with smaller size and scope.

In this paper, a 3D thermal imaging methodology based on UAV (Figure 1) is utilized, which includes four steps: route planning, image acquisition, thermal infrared data preprocessing, and 3D imaging. DJI Matrice 210 RTK drone and Zenmuse XT2 dual-lens camera are adopted. Route planning is automated by DJI Pilot software to develop flight path. High overlap thermal infrared images can be obtained through the thermal infrared oblique photogrammetry. A batch preprocessing software is applied to unify the temperature range and color scale of all thermal infrared images, improving identification accuracy of feature points (Figure 2). The elaborate delineation and accurate identification of 3D temperature field are realized by feature point matching and texture mapping (Figure 3). The method is adopted to visualize the surface temperature fields of coal gangue pile fires in the Anjialing Open Pit Mine, China. Temperature value and boundary of high-temperature areas are properly characterized by 3D thermal infrared model.

The methodology overcomes the limitations of traditional 3D imaging on the weather condition and manual operation. The aerial thermal infrared oblique photogrammetry is implemented with the consistent temperature range and color palette. The 3D thermal infrared models clearly present the location, temperature value and boundary of the fire areas, which provides the visual analysis mean and data assistance for the efficient control of the coal gangue pile fires. The results indicate that the method can also be applied to the detection of other high-temperature anomaly hazards such as coal fires, landfill fires and volcanoes.

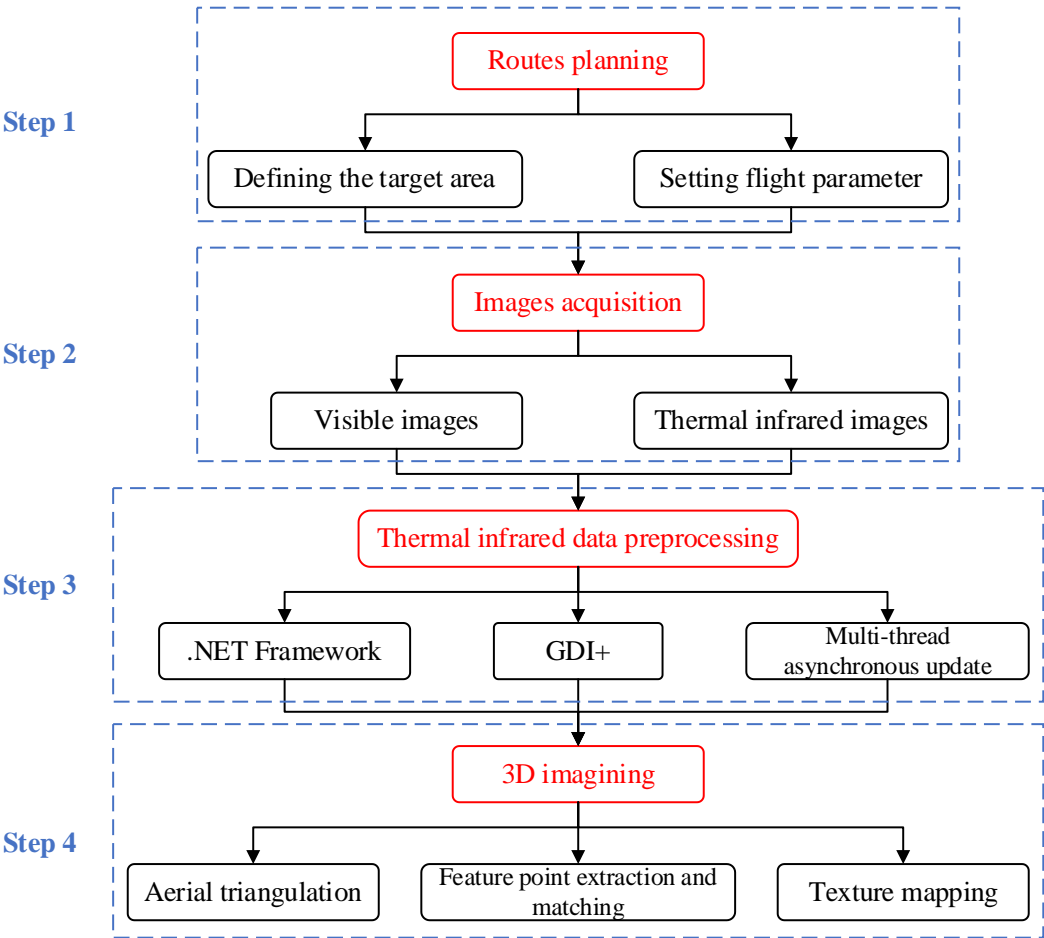


Figure 1. Technology approach

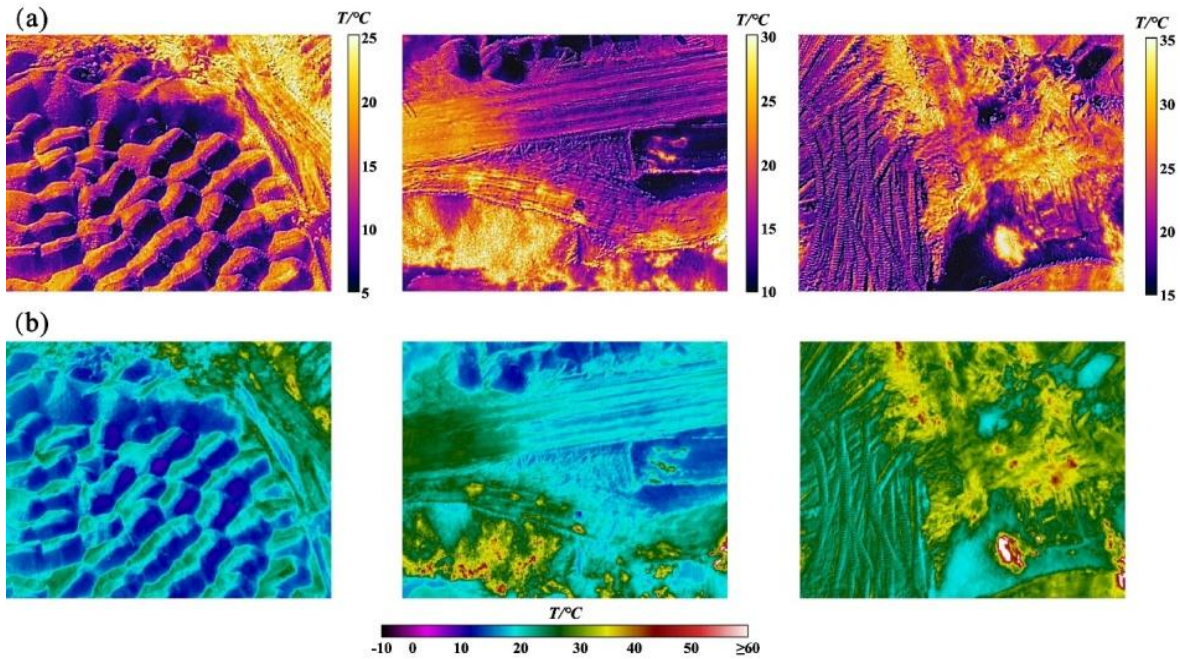


Figure 2. Comparison of the original and preprocessed thermal images. (a) Original images. (b) Preprocessed images

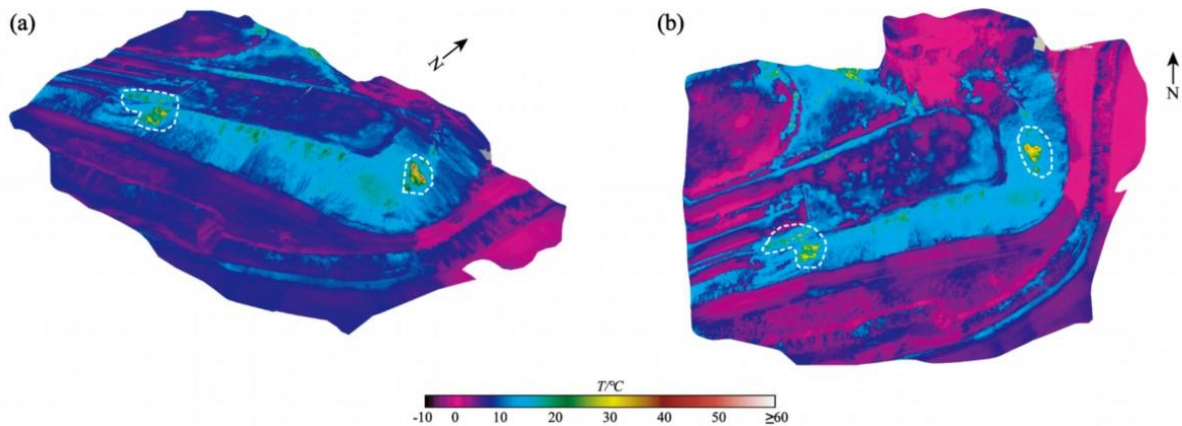


Figure 3. 3D thermal infrared model from different perspectives (white dashed lines delineate the high-temperature zones). (a) Southwest view. (b) Top view.

Rong DENG: Field work, Data processing, Model construction, Writing - original draft
 Zhenlu SHAO: Writing - review & editing

List of references:

1. TAN B, ZHANG F, ZHANG Q, et al. Firefighting of subsurface coal fires with comprehensive techniques for detection and control: a case study of the Fukang coal fire in the Xinjiang region of China [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, 26(29): 29570-29584.
2. CIVEIRA M S, PINHEIRO R N, GREDILLA A, et al. The properties of the nano-minerals and hazardous elements: Potential environmental impacts of Brazilian coal waste fire [J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 544: 892-900.
3. ZHENG G, ZHANG C, ZHANG H, et al. Effect of temperature on water content and vegetation growing in coal waste pile: A case study in Yangquan City of Shanxi

- Province [J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2008, 6(3): 107-111 (In Chinese).
4. WU H, ZENG F, YAO H, et al. Danger Evaluation and Control Technology of Coal Mine Gangue Spontaneous Combustion [J]. *Coal Science and Technology*, 2013, 41(04): 119-123 (In Chinese).
 5. SHAO Z, WANG D, CAO K, et al. Treatment of smouldering coal refuse piles: an application in China [J]. *Environmental technology*, 2020, 41(23): 3105-3118.
 6. ZHENG Z. Study of Three Dimension Synthesize Exploration Technology of Fire Area of Coal Gangue Pile [J]. *Coal Mining Technology*, 2017, 22(4): 13-15 (In Chinese).
 7. HE D, LE B T, XIAO D, et al. Coal mine area monitoring method by machine learning and multispectral remote sensing images [J]. *Infrared Physics & Technology*, 2019, 103: 103070.
 8. NádUDVARI A, ABRAMOWICZ A, FABIAŃSKA M, et al. Classification of fires in coal waste dumps based on Landsat, Aster thermal bands and thermal camera in Polish and Ukrainian mining regions [J]. *International Journal of Coal Science & Technology*, 2021, 8(3): 441-456.
 9. LEWIŃSKA P, DYCZKO A. Thermal digital terrain model of a coal spoil tip—a way of improving monitoring and early diagnostics of potential spontaneous combustion areas [J]. *Journal of Ecological Engineering*, 2016, 17(4) : 170-179.
 10. WANG H, HU Z, WANG X, et al. Constructing infrared 3D model of spontaneous coal gangue piles surface temperature field [J]. *China Coal*, 2015, 41(8): 131-135 (In Chinese).
 11. TEODORO A, SANTOS P, ESPINHA MARQUES J, et al. An Integrated Multi-Approach to Environmental Monitoring of a Self-Burning Coal Waste Pile: The São Pedro da Cova Mine (Porto, Portugal) Study Case [J]. *Environments*, 2021, 8(6): 48-73.
 12. ABRAMOWICZ A, RAHMONOV O, CHYBIORZ R. Environmental management and landscape transformation on self-heating coal-waste dumps in the Upper Silesian Coal Basin [J]. *Land*, 2021, 10(1): 23-44.

Supervisor of studies: Ph.D.Safety Engineering, associate professor Zhenlu Shao

ЕЛИЗАРЬЕВА А.П.

Заполярный государственный университет имени Н.М. Федоровского

**ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗРЫВОСЕЛЕКЦИИ РУДО-ПОРОДНОГО МАССИВА С
ПОЗИЦИИ СТАБИЛИЗАЦИИ КАЧЕСТВА РУД ПРИ ДОБЫЧЕ**

ELIZAREVA A.P.

N.M. Fedorovsky Polar State University

**INVESTIGATIONS OF EXPLOSIVE SELECTION OF ORE-ROCK MASSIF FROM
THE POSITION OF STABILIZING THE QUALITY OF ORES DURING MINING**

Взрывная отбойка находится в начале производственных процессов добычных работ, непосредственно физически воздействующих на рудный массив, превращая его в сыпучую рудную массу, от характеристик которой в существенной мере зависит эффективность выполнения последующих процессов и операций в технологической цепочке. Одна из основных характеристик рудной массы это её кусковатость, определяемая не только средним размером кусков, но и гранулометрическим составом.

Именно размер кусков и их соотношение является главным фактором, влияющим на глубину взаимопроникновения сыпучих масс: чем меньше средняя кусковатость, тем лучше условия для их взаимного перемещения и, соответственно, смешивания общей массы. В результате неравномерного гранулометрического состава отбитого рудо-породного массива ухудшаются смесительные свойства рудной массы и возникают колебания качества руды, которые создают значительные трудности в переработке руды, ухудшая такие технологические показатели обогащения как извлечение металлов, выход и качество концентратов, приводит к неполному использованию минерального сырья и снижению экономической эффективности всего горно-металлургического комплекса [3].

Одним из перспективных методов решения проблемы является повышение стабильности вещественного состава относительно бедных медно-никелевых руд путем совершенствования горно-добычных работ, обеспечивающих повышение качества выдаваемой продукции горных предприятий на основе технических решений, базирующихся на использовании положительного эффекта от разделительного действия взрыва при отбойке руды. За счёт изменения параметров буровзрывных работ представляется возможным усиливать смесительное или разделительное действие взрыва и улучшить качество добытой рудной массы, что и определяет актуальность работы. Еще способ разделительного действия взрыва при отбойке руды называют взрывоселекцией [1].

Цель работы – теоретическое и инженерное обоснование технологических условий для эффективного повышения стабилизации качества рудной массы, за счет разделительного действия взрыва при отбойке рудо-породного массива.

Идея работы заключается в том, что взрывоселекция рассматривается не только как способ отбойки полезного ископаемого, но и как технологический фактор, способный в определённой мере эффективно снижать уровень изменчивости содержания полезных компонентов в рудопотоке.

В работе условия и пути повышения стабильности состава медно-никелевых руд за счет разделительного действия взрыва при отбойке рудо-породного массива изучались на примере месторождения «Норильск-1», которое обрабатывает рудник «Заполярный».

Для условий рудника «Заполярный» процесс разделительного действия взрыва при отбойке рудо-породного массива рассматривается в направлении полезного использования этого явления для повышения концентрации полезных компонентов в добытой руде. На основании обработки большого массива исходных данных установлены надёжные корреляционные зависимости значений абсолютного содержания металла в рудной массе от класса крупности куска. Согласно кривым, в кусках отбитой рудной массы, крупностью до 300 мм, повышение содержания металлов сопровождается снижением изменчивости качества в 2-5 раз в более мелких кусках. В условиях рудника «Заполярный» кондиционные по крупности куски породорудной массы классов 0-300 мм являются контрастными, и подвергнуть их разделению на простейших грохотах не представляется целесообразным. В этой связи одной из рациональных технологий повышения содержания полезных компонентов в рудной массе является взрывоселекция [4].

Смешение происходит в процессе взрывного разрушения горного массива, сопровождающегося перемещением в пространстве его отделённых частей. Как показывает практика, на интенсивность колебания показателей качества руды в общешахтном потоке оказывает влияние крупность кусков руды при отбойке. В свою очередь, разная кусковатость руды и вмещающих горных пород становится причиной их взаимопроникновения во время выполнения производственных процессов добычи, вызывая дополнительную изменчивость состава рудной массы.

Например, большая разница в кусковатости рудной массы, поступающей на обогащение, характерна для руд месторождения «Норильск-1», поскольку они добываются одновременно подземным рудником «Заполярный» и карьером «Медвежий ручей» с добавлением доли талнахских медистых и вкрапленных руд. Естественно, что в суммарном рудопотоке, поступающем на Норильскую обогатительную фабрику (НОФ), кроме неодинакового содержания металлов в этих разнорудных рудах, различен и их гранулометрический состав, из-за чего формируется дополнительно высокая изменчивость показателей качества руды [2]. Например, по данным исследований, относительный размах изменений содержания никеля в рудопотоке рудник -НОФ составляет 215%, а меди – 475%.

Эффект взрывоселекции возникает благодаря возникновению двух или более разнонаправленных векторов действия взрывов зарядов взрывчатого вещества, либо однонаправленных векторов, которые имеют разные скалярные значения. При этом достичь взрывоселекцию можно не только применив различные диаметры и сетки

шпуров, изменив конструкции, массы зарядов, и схемы взрывания, но и за счет использования в забое разных типов взрывчатки - на одном участке забоя- бризантную, в другом - имеющую метательную способность. В результате буровзрывных работ формируется волнообразный контур навала, в котором четко разделяется рудная и породная части.

На основе компьютерного имитирования технологии взрывоселекции была установлена корреляционная зависимость извлечения металлов от крупности рудного куска. Согласно зависимости, при отделении куска руды крупностью от 300 до 50 мм, повышается содержание никеля в рудной массе с 0,33 до 0,59 %, что влечет за собой увеличение извлечения металла в концентрат с 65 до 78 %, т.е. на 13%.

Внедрение результатов исследования в практику норильских рудников обеспечит повышение содержания металлов в добытой руде в 1,2 -1,5 раза, стабилизируя вещественный состав рудной массы на выходе из рудника более чем в 2 раза, обеспечив повышение прибыли предприятия от производства металла, получаемого из 1 т руды, более чем на 18%.

В результате подземный рудник становится эффективным горнотехническим комплексом для стабилизации качества вещественного состава минерального сырья, который способен улучшить показатели эффективности перерабатывающих производств.

Список литературы:

1. Амирханов И.З. Разработка технологии и обоснование параметров взрывоселекции при очистной выемке заходками и проведении подготовительных выработок: Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук / Амирханов Игорь Заурович; Московский государственный горный университет. - Москва, 1994. - 23 с.;
2. Ломоносов Г.Г., Туртыгина Н.А. Явление сегрегации рудной массы и его влияние на формирование качества продукции горнорудного производства / Ломоносов Геральд Георгиевич, Туртыгина Наталья Александровна // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 6 с. 37–40.;
3. Туртыгина Н. А., Охрименко А. В. Показатели численного моделирования технологии внутрирудничной предконцентрации рудной массы / Туртыгина Наталья Александровна, Охрименко Александр Владимирович // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 4. (специальный выпуск 15) с. 3–12;
4. Кожиев Х.Х. Научное и технологическое обоснование системы управления качеством руд при подземной добыче: Автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора технических наук / Кожиев Хамби Хадзимурзович; Горный институт. - Москва, 2006. - 46 с.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Н.А. Туртыгина

ЗИГАНГИРОВ Р.Р.

Санкт-Петербургский горный университет

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ВЗРЫВНОЕ РАЗРУШЕНИЕ
НЕОДНОРОДНОГО МАССИВА**

ZIGANGIROV R.R.

Saint Petersburg Mining University

**RESEARCH OF ENERGY CONSUMPTION FOR EXPLOSIVE CRUSHING OF
HETEROGENEOUS MASSIFS**

В работе предлагается обоснование необходимости определения зависимости физико-механических свойств горных пород от параметров бурения взрывных скважин для оптимизации буровзрывных работ.

Актуальность исследования заключается в том, что затраты на буровзрывные работы (БВР) на крупных горнодобывающих предприятиях достигает 30 %, при этом при ведении работ на месторождениях со сложным геологическим строением параметры БВР рассчитываются по усреднённым значениям физико-механических свойств горных пород [1]. При этом удельные энергозатраты на взрывное разрушение отдельных типов пород могут отличаться в 1,5-2 раза, что приводит к перерасходу ВВ и не оптимальному качеству дробления при взрывании массивов со сложным геологическим строением. Отсюда следует, что необходимо проводить оптимизацию параметров БВР с учетом изменчивости физико-механических свойств массива для уменьшения затрат на ведение буровых и взрывных работ и повышения качества дробления.

Цель исследования: определение зависимости параметров бурения от физико-механических свойств горных пород с целью повышения качества дробления

При выполнении исследования применялись органолептические методы, в частности, наблюдение за процессом бурения технологических скважин, методы отбора образцов горных пород, характерных для данного месторождения, и определения их физико-механических свойств в соответствии с имеющимися национальными стандартами (ГОСТ), а также методы математической статистики для обработки полученных результатов и получения функции зависимости параметров бурения от физико-механических свойств горных пород.

Современные методы расчёта параметров буровзрывных работ основаны на обобщенных формулах, учитывающие различные факторы, как горно-геологические (физико-механические свойства пород, трещиноватость подготавливаемого к взрыву блока), так и необходимое качество дробления. Последнее, согласно вероятностно-статистической гипотезе Падукова В.А., Макарьева В.М. и Виноградова Ю.И., зависит от горно-геологических факторов, а именно прочностной характеристики пород и имеющейся трещиноватости [2]. Данная гипотеза позволяет определить средний размер куска взорванной горной массы d_{cp} в зависимости от двух основных параметров БВР: удельных энергозатрат на взрывное разрушение и параметров сетки скважин (ЛНС) [3].

$$d_{cp} = W \cdot \exp\left(0,102 \cdot A \frac{\eta}{\sigma}\right) \quad 1)$$

где W – параметры сетки скважин проектного и эталонного взрыва соответственно, м;

A – удельная работа взрыва, Дж/м³;

η – КПД дробления;

σ – прочностная характеристика горной породы.

Неизвестными в данной гипотезе остаются две величины: КПД дробления и прочностная характеристика пород, но можно определить их отношение (показатель эффективности взрывного дробления) на основе эталонного взрыва, после которого определяются средний размер куска d_{cp} . При известных удельных энерготратах и ЛНС, расчёт отношения КПД дробления к прочностной характеристике не является трудной задачей.

При оценке доли затрат на различные горные процессы, такие как бурение, взрывные работы, погрузочно-транспортные операции и первичное дробление горной массы видно, что график в координатах «средний размер куска d_{cp} – «себестоимость добычи единицы полезного ископаемого C » имеет точку минимума при некотором значении d_{cp} , являющаяся суммой себестоимостей вышеперечисленных горных работ на единицу полезного ископаемого. Учитывая тот факт, что на месторождениях со сложным геологическим строением прочностная характеристика пород разная, то и параметры БВР, обеспечивающий необходимый гранулометрический состав взорванной горной массы каждого типа пород, различны. Принимая сетку скважин постоянной, выражение (1) можно записать как:

$$d_{cp} = W \cdot \exp(0,102 \cdot A_i (\frac{\eta}{\sigma})_i) \quad 2)$$

где i – количество типов пород, характерных для данного месторождения

Тогда, зная оптимальный средний размер куска взорванной горной массы, определив показатель эффективности взрывного дробления для каждого типа пород на основании экспериментальных взрывов, можно рассчитать необходимое количество энергии, необходимое для дробления 1 м³ каждой горной породы.

Однако, перед проектировщиками остаётся достаточно сложная задача – как определить, какие породы находятся в разных участках подготавливаемого к взрыву блока. Геологическая разведка, проводимая на горнодобывающих предприятиях, не позволяет определить строение любого подготавливаемого к взрыву блока, так как расстояние между геологоразведочными скважинами достаточно большое, и строение месторождения строится на основе интерполяции имеющихся данных по этим скважинам. Проводить операции по геологоразведке на каждом блоке крайне трудоёмко и капиталозатратно [4], так как необходимо сгущать сетку геологоразведочных скважин для необходимых значений, при этом необходимо испытать полученные образцы на прочность при различных воздействиях в лабораторных условиях. Единственным способом остаётся анализ строения блока по данным бурения взрывных скважин, таких как скорость бурения и удельная энергоёмкость бурения.

Принимая во внимание все вышесказанное, для оптимизации параметров БВР необходимо выполнить следующий алгоритм:

1. Определить типы пород, характерных для данного месторождения, и участки их залегания, не нарушенные взрывными работами;

2. Провести отбор образцов на этих участках путем бурения инженерно-геологических скважин с последующим испытанием полученных образцов в лаборатории для получения данных по физико-механическим свойствам горных пород;

3. Пробурить вблизи каждой инженерно-геологической скважины технологическую скважину станком шарошечного бурения с установленным на нём специальным оборудованием для снятия показателей бурения;

4. На основании полученных данных вывести зависимость между параметрами бурения и физико-механическими свойствами горных пород;

5. Провести на каждом типе пород на тех же участках экспериментальные взрывы с последующим измерением гранулометрического состава взорванной горной массы для определения удельных энергозатрат на взрывное дробление пород и отношения КПД к прочностной характеристике горных пород.

Тогда по известным значениям удельных энергозатрат на взрывное разрушение с применением полученной зависимости между физико-механическими свойствами горных пород и параметрами бурения возможно составить некоторую автоматизированную программу оптимизации буровзрывных работ.

На данный момент были проделаны 1-4 шага вышеуказанного алгоритма. В качестве исследуемого массива было выбрано Куранахское рудное поле, где геологическое строение массива крайне неоднородное. На выбранных участках были пробурены четыре инженерно-геологические скважины, из которых были отобраны образцы характерных для данного месторождения типов пород. На расстоянии 1-2 м от каждой скважины были пробурены технологические скважины станком шарошечного бурения с установленным бортовым контроллером «КОБУС». На основе полученных в лаборатории значений физико-механических свойств горных пород и данных по бурению технологических скважин была получена зависимость между удельной энергоёмкостью бурения и коэффициентом крепости горных пород на исследуемом массиве. Коэффициент крепости был выбран ввиду следующих причин:

Анализ значений плотности горных пород не показал какой-либо однозначной корреляционной зависимости между этим параметром и параметрами бурения;

Коэффициент сходимости между пределами прочности образцов горных пород на сжатие и растяжение составил 0,98, что позволяет анализировать только предел прочности на сжатие;

Коэффициент крепости аналитически определяется через предел прочности образца на одноосное сжатие.

Полученные результаты показывают связь между удельной энергоёмкостью бурения и коэффициентом крепости горных пород по М.М. Протодяконову, что позволяет применять данный алгоритм для определения зависимости между параметрами бурения и физико-механическими свойствами горных пород на массивах со сложным геологическим строением.

На основе полученной зависимости появилось решение задачи определения строения подготавливаемого к взрыву блока. Зная удельные энергозатраты на взрывное дробление каждого типа горных пород, характерных для данного месторождения, можно распределить энергию заряда таким образом, чтобы получить необходимое качество дробления.

Список литературы:

1. Жариков С.Н. Взаимосвязь удельных энергетических характеристик процессов шарошечного бурения и взрывного разрушения массива горных пород: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (25.00.20) / Сергей Николаевич Жариков; ИГД Уро РАН. – Екатеринбург, 2011. – 26 с.
2. Виноградов Ю.И. О прочности массива горных пород при разрушении взрывом / Ю.И. Виноградов // Научно-технический сборник «Взрывное дело». – М.: ИПКОН РАН., 2013. – № 109/66. – С. 98-106.
3. Виноградов Ю.И. Метод расчёта параметров буровзрывных работ на заданный гранулометрический состав взорванной горной массы / Ю.И. Виноградов, С.В. Хохлов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: Изд-во «Горная книга», 2015. – № 19 (спец. выпуск). – С. 20-27.
4. Mohammad Babaei Khorzoughi, Rock fracture density characterization using measurement while drilling (MWD) techniques / Mohammad Babaei Khorzoughi, Robert Hall, Derek Apel // International Journal of Mining Science and Technology. – 2018. – № 29. – 859-864 pp. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.01.001>

Научный руководитель: к.т.н., доцент Ю.И. Виноградов

КИРИЛЕНКО В.И.

Санкт-Петербургский горный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА НОВУЮ ТЕХНОЛОГИЮ ДОБЫЧИ

KIRILENKO V.I.

Saint Petersburg Mining University

RESEARCH OF PROCESSES OF GROUND SURFACE MOVEMENT DURING THE TRANSITION TO A NEW PRODUCTION TECHNOLOGY

В современном мире растет потребление ресурсов, а вместе с ним происходит интенсификация добычи полезных ископаемых (ПИ). С ростом добычи уменьшается количество месторождений с высокой концентрацией ПИ. Так, например, по данным исследований за последние 20 лет содержание железа и золота уменьшилось в 1,25, цветных металлов – в 1,3 - 1,5 раз, а доля труднообогатимых руд и угля повысилась с 15 до 40 % [1]. Для повышения рентабельности горные предприятия пытаются минимизировать потери ПИ в целиках, а это ведет к необходимости повышения безопасности горных работ, которая складывается из безопасности дневной поверхности и безопасности внутри шахт, рудников.

Объект исследования сдвигание земной поверхности при ведении горных работ. Предметом исследования было изучение возможности перехода на другую технологию и определение процессов сдвижений земной поверхности. Для решения поставленных задач, была разработана методика моделирования структуры всей толщи горных пород и развития процессов сдвижения на всех горизонтах путем решения «обратной» задачи мелкодискретного формирования сдвижения горных пород на горизонте потолочины,

соответствующего известным данным натурных наблюдений за весь период отработки по всем опасным участкам а также с учетом параметров недозаклада и усадки закладочного материала при переходе на новую технологию.

Методика моделирования основана на решении задач сдвижений горного массива на двух разномасштабных моделях: модели 1 и модели 2. В модели 1 в масштабе 1:410 моделировался участок массива 1200 м по горизонтали и 750 м по вертикали, в соответствии с сдвижением поверхности на рисунке 1. В модели 2 в масштабе 1:540 моделировался участок массива с размерами 380 м по горизонтали и 130 м по вертикали, а также процессы сдвижений при переходе на новую технологию. Схема модели 1 представлена на рисунке 1 под буквой а, а схема модели 2 под буквой б.

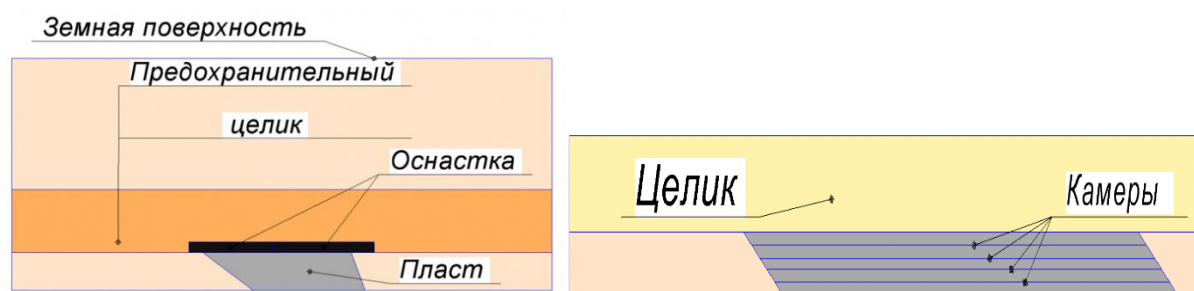


Рисунок 1. а) схема модели; б) схема модели 2

Первый шаг исследования подбор эквивалентного материала (ЭМ) под заданный масштаб моделирования. Рудное тело представляет собой железнослудково-мартитовые руды. Образцы из ЭМ для проверки своих свойств проверялись на сжатие и изгиб. При выборе необходимого ЭМ встала проблема слишком большой прочности на изгиб у образцов.

Второй шаг исследования модернизация оборудования и учет ослабления массива. Первая задача решена была изготовлением оснастки, которая предназначена для обеспечения регулируемого смещения пород на уровне продуктивных пластов. Оснастка представляет собой ряд тонких металлических пластин, металлические шпильки, специальные швеллеры с креплением. Для «ослабления» прочности на изгиб ЭМ была изготовлена методика насечки средней части слоев, обеспечивающая достижение критерия подобия $\sigma_{сж} / \sigma_{изг}$. Методика подразумевала использование конструкции с разрезными пластинами, которые обеспечивают необходимую ширину, глубину и частоту насечки.

Деформация модели происходит в следствии опускании плит по всей ширине моделируемой области с одновременным слежением за смещением верхней (дневной) поверхности модели в соответствии с реальными параметрами мульды сдвижений в масштабе 1:410. Для создания необходимого градиента изменения реальной мульды сдвижений разные части пластин регулировались на необходимую величину.

В результате испытания модели 1 мульда сдвижений земной поверхности достигла натурных наблюдений. Для продолжения исследования необходимо было определить процессы сдвижения при переходе на новую технологию, которые определялись на модели 2.

Методика моделирования модели 2 заключается в обеспечении формирования исходных параметров по суммарной величине недозаклада и усадки закладочного материала в соответствии с планируемой технологией горных работ и порядке закладки

камер, а также с воспроизведением дополнительной обработки горизонтов до -448 м. Сущность разработанной методики состоит в создании эквивалентной схемы деформирования горных пород, соответствующей заданному порядку формирования и закладки камер, позволяющий существенно упростить технологию изготовления модели. Для реализации этой методики, в модель, в процессе ее изготовления, закладываются четырех сплошных ряда тонких пластинок для воспроизведения обработки рудного тела на ширину модели, соответствующих ширине камер и временных целиков между ними с соотношением 2:1. В результате испытания были получены приращения смещений на нижней границе целика (рис. 2), которые далее были перенесены для дальнейшего испытания модели 1.

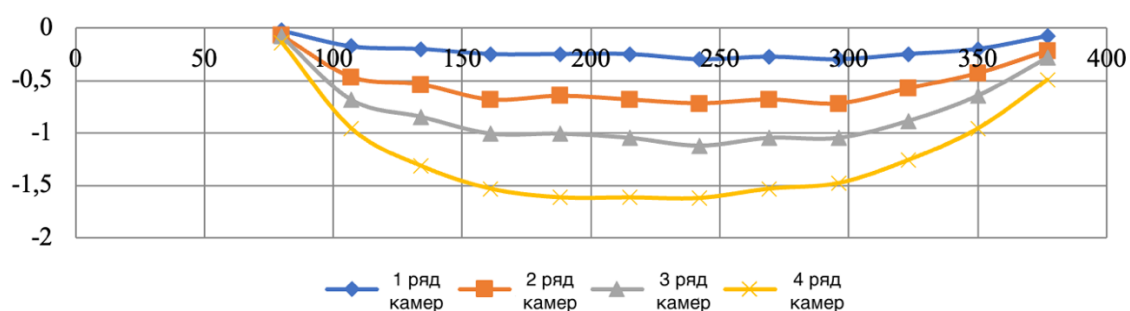


Рисунок 2. Прогноз вертикальных сдвижений земной поверхности

После получения параметров вертикальных сдвижений в модели 2, соответствующих отработке и закладке камер, было произведено моделирование приращения опускания пластин в модели 1, соответствующая параметрам вертикальных сдвижений, полученных в модели 2. На рисунке 3 фотографии № 20 (ф. 20) – соответствуют сдвигениям исходным, а фотографиям № 25, 28, 30, 33 (ф. 25, ф. 28, ф. 33, ф. 33) – соответствуют изменения вертикальных сдвижений потолочины при моделировании отработки камер № 7-12, № 13-18, № 19-24, № 25-33.

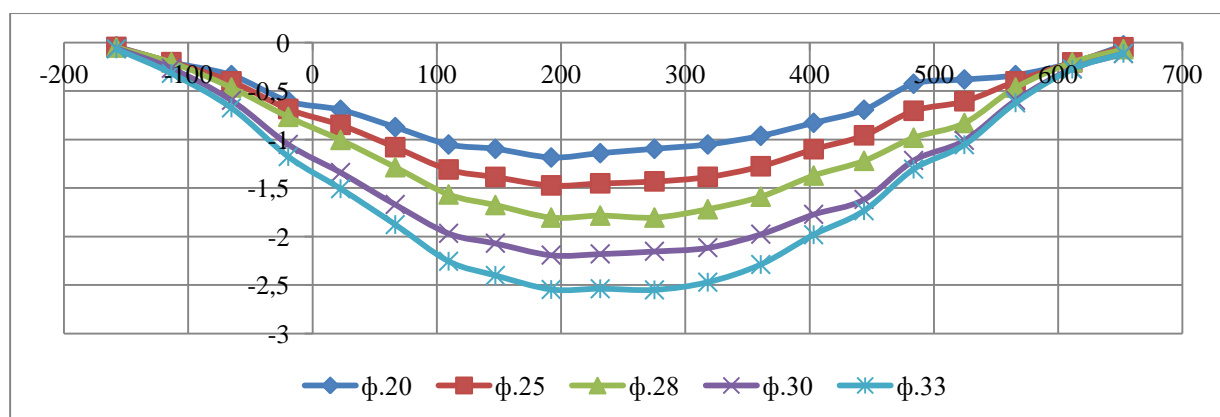


Рисунок 3. Прогноз вертикальных сдвижений земной поверхности

Выводы

Разработана методика физического моделирования, позволяющая исследовать процессы сдвижений и оценивать параметры наклонов и кривизны мульды на

различных горизонтах с учетом изменения технологии разработки рудного месторождения.

Путем решения обратной задачи на основании известных натуральных данных о параметрах мульды потолочины и земной поверхности на физической модели воспроизведен процесс деформирования всей толщи горного массива до земной поверхности и установлено, что экстремальные значения кривизны потолочины и верхней границы защитного целика не превышают критических значений $K_T = 0.627 \cdot 10^{-3}$ при которых возможно образование водопроводящих трещин.

На основании заданных исходных данных о суммарной 4% оценке недозаклада и усадки закладочного материала воспроизведен процесс сдвижения потолочины на прогнозируемый период с заданным порядком выемки рудного тела путем его послышной отработки. Установлено, что с учетом первоначальных сдвижений общее экстремальное опускание потолочины при последовательной отработке камер № 7-12, 13-18, 19-24, 25-33 составляет, 1,96 м, 2,28 м, 2,67 м, 3,17 м, соответственно, а экстремальные значения кривизны на отдельных участках при отработке горизонтов - 408-418 м могут превышать критическое значение $K_T = 0.627 \cdot 10^{-3}$.

Список литературы:

1. Чантурия В.А. Перспективы устойчивого развития горно- перерабатывающей индустрии России // Прогрессивные технологии комплексной переработки минерального сырья / Под ред. В.А. Чантурия. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2008. – 283 с.

Научный руководитель: к.т.н., заведующий лабораторией Б.Ю. Зуев

КОЛГАНОВ А.В.

Санкт-Петербургский горный университет

РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ УМЕНЬШЕНИЯ РАЗУБОЖИВАНИЯ РУДЫ ПРИ ОТРАБОТКЕ МОЩНЫХ ПОЛОГОПАДАЮЩИХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ВКРАПЛЕННЫМИ РУДАМИ

KOLGANOV A.V.

Saint Petersburg Mining University

DEVELOPMENT OF WAY TO REDUCE ORE DILUTION ON THE COPPER- NICKEL DEPOSITS WITH DISSEMINATED ORE

В работе представлены результаты анализа данных картирования горных выработок, геотехнического описания керна, с целью определения основных причин систематического обрушения западных стенок очистных камер на руднике «Октябрьский» (рисунки 1) [1, 2].



Рисунок 1. Формирование бортов очистной камеры

На руднике «Октябрьский» используется камерная система разработки с закладкой выработанного пространства. Очистные камеры имеют следующие параметры (рисунок 2), где под номер 1 - рудный массив, 2 - скважины для отбойки, 3 - отбитая руда, 4 - слоевой орт; 5 - верхний разрезной штрек (расширенный), 6 - нижний разрезной штрек (расширенный), 7,8 - границы камер, 9 – дополнительный заезд в камеру, 10 – вентиляционная сбойка, 11 – заходка до 10 м.

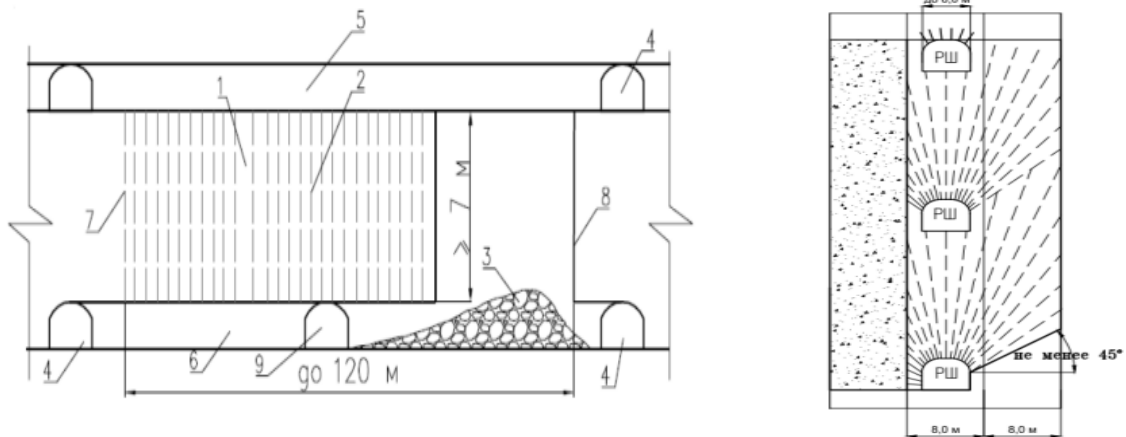
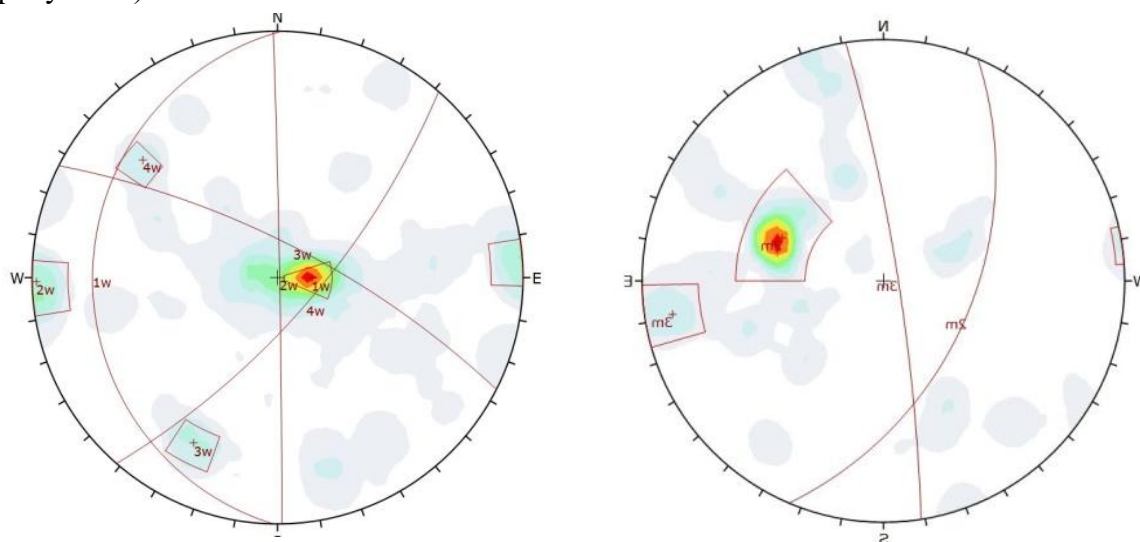


Рисунок 2. Принципиальная схема системы разработки

Обрушения влекут за собой ряд существенных проблем: неконтролируемые обрушения затрудняют безопасную работу в пределах очистных пространств, потерю полезного компонента, а также нестабильные показатели разубоживания руды [3, 4].

Используя данные картирования, геотехнического описания, удалось построить стереограммы трещиноватости массива вблизи очистных пространств. Полученные стереограммы подтвердили предположение о том, что обрушения возникают из-за кинематической потери устойчивости структурных блоков массива, сформированы

основными системами трещин. Наиболее неблагоприятными являются трещины имеющие угол падения 81-89 градусов и азимут простирания 86-89 и 266-290 градусов (рисунок 3).



- 1) Сводная стереограмма трещиноватости по геотехническим скважинам 2) Сводная стереограмма трещиноватости по картованию

Рисунок 3. Сводные стереограммы трещиноватости

Список литературы:

1. Сабянин Г. В., Баландин В.В., Трофимов А. В., Кузьмин С.В. Методика выполнения геомеханических работ на руднике «Октябрьский» // Горный журнал №6 07.2020;
2. Barton N., Grimstad E. The Q-system following twenty years of application in NMT support selection //International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts. – 1995. – Т. 5. – №. 32. – С. 232А.;
3. Еременко В. А. и др. Оценка состояния массива горных пород на рудниках зф оао «гмк «норильский никель» // 2017 С. 5–17.;
4. В.И. Голик, О.З. Габараев, Х.Х. Кожиев, З.А. Гашимова. К проблеме снижения разубоживания руды компонентами твердеющей закладочной смеси // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2021 Вып. 2 (168). С. 123;

Научный руководитель: д.т.н., профессор В.П. Зубов

КОНДРАШИН К.Г.

Астраханский государственный архитектурно-строительный университет

**ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО БЕСПИЛОТНОГО ВОЗДУШНОГО
СУДНА ПРИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТАХ И МОНИТОРИНГЕ
КРУПНОМАСШТАБНЫХ ВЫРАБОТОК**

KONDRASHIN K.G.

Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering

**APPLICATION OF ENERGY-EFFICIENT UNMANNED AIRCRAFT IN BLASTING
AND MONITORING OF LARGE-SCALE WORKINGS**

В работе исследована возможность применения энергоэффективного беспилотного воздушного судна (БВС) в рамках мониторинга крупномасштабных работ и во взрывоопасных зонах.

Актуальность исследования. Открытые горные выработки согласно ФЗ «О промышленной безопасности на опасных производственных объектах» относятся к объектам, к которым предъявляются повышенные требования по обеспечению безопасности их эксплуатации.

При этом выполнение систематических наблюдений за состоянием бортов карьеров является обязательным элементом, обеспечивающим безопасное ведение горных работ. Наблюдения необходимо производить в течение всего срока разработки месторождений

Целью наблюдений является получение информации о наличии либо отсутствии процесса сдвижения на момент выполнения наблюдений, обнаружение начавшегося процесса сдвижения на его ранней стадии, определение величины и векторов смещений, что позволяет своевременно принять необходимые меры предосторожности, исключающие остановку или снижение объёмов добычи.

В ходе проведения работ по обеспечению безопасной добычи природных ископаемых, была исследована возможность применения энергоэффективного БВС (рис.1). Беспилотный гибридный летательный аппарат, представляет из себя воздушное судно автономного типа. За счёт применение ёмкостей с гелием, данное гибридное БВС способно нести на себе множество детектируемых устройств.



Рисунок 1. Проектируемый энергоэффективный БВС

Энергоэффективный БВС с увеличенным ресурсом времени работы и грузоподъемностью - способен нести на себе множество приборов (тепловизор, эхолот, оптические приборы и т.д.).

Современные используемые квадрокоптеры имеют определенный ресурс времени, что недостаточно для обследования линейных объектов и масштабных стройкомплексов. Согласно исследованию, стандартный квадрокоптер способен без посадки проводить только 20-30 минут обследования. В данном случае масштабные работы становятся долгосрочными и дорогостоящими. Применение "тела" дирижабля - заполненного веществом легче воздуха, вытесняет из времени работы БВС взлёт и удержание высоты (наиболее энергоёмкие процессы), кроме того позволяет даже стандартным моторам выдерживать дополнительный вес какого-либо оборудования.

Расположив по периметру исследуемой зоны станции подзарядки можно обеспечить бесперебойный мониторинг территории добычи полезных ископаемых и при взрывных работах.

Кроме того, оптические- и термодатчики способны засечь начало возгорания чтобы устройство начало сигнализировать об этом как звуковым сигналом, так и передачей данных специальным службам.

Выводы

Выявлено что применение технологий дирижаблестроения при проектировании энергоэффективного БВС, позволит дополнить стандартные возможности беспилотных летательных аппаратов.

Заклучено что БВС увеличенной грузоподъемностью имеет расширенные возможности для обследования крупномасштабных выработок (карьеров открытой добычи), линейных объектов (линии электропередач, дороги) и при обследовании территорий при взрывных и иных работах для осуществления безопасности сотрудников.

Научный руководитель: д.б.н., профессор В.Н. Пилипенко

КРАСНОУХОВА Д.Ю.
Санкт-Петербургский горный университет

**РАЗРАБОТКА СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА УРОВНЯ ШУМА НА РАБОЧИХ
МЕСТАХ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

KRASNOUKHOVA D.Y.
Saint Petersburg Mining University

**DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR MONITORING THE NOISE LEVEL AT THE
WORKPLACES OF MINING ENTERPRISES**

В условиях добычи полезных ископаемых существующие технологические процессы провоцируют большое количество различных шумов, которые зачастую превышают предельные допустимые значения, в результате чего у работников развиваются профессиональные заболевания органа слуха.

Согласно статистическим данным за 2019 год, представленным Министерством труда и социального развития, негативному влиянию опасных и вредных производственных факторов подвергается более 40% работников, занятых в горной промышленности.

Согласно результатам оценки шумового воздействия средний эквивалентный уровень шума на рабочих местах превышает допустимые значения на 15-25 дБА, при этом не оценивается воздействие пиковых превышений допустимого значения, в результате чего могут происходить баротравмы. Проведенное исследование показало, что на предприятиях используются СИЗОС, которые не обеспечивают защиту при пиковых нагрузках. При этом более половины работников признаются, что снимают средства защиты из-за неудобства, подвергая риску свое здоровье. По сведениям Роспотребнадзора за 2019 год, более чем у 20% работников горнодобывающей промышленности выявлено и впервые установлено профессиональное заболевание – нейросенсорная тугоухость.

Актуальность работы заключается в возможности предупреждения развития профессиональных заболеваний органов слуха работников горной промышленности, за счет применения системы мониторинга превышения шума и информирования работника о необходимости применения СИЗОС.

Основной целью является разработка системы постоянного мониторинга шумового воздействия на подземный персонал.

Были проанализированы патенты на изобретение инновационных способов оснащения и применения наушников, а также шахтных головных светильников. В результате чего было установлено, что на сегодняшний день не выявлено аналогов системы мониторинга шумового воздействия с возможностью предупреждения работников о превышении допустимого уровня шума.

Применения системы мониторинга шумовой среды требует оснащение СИЗ эффективным источником питания. Для решения поставленной задачи рассматривается

возможность применения индивидуальных головных фонарей, оснащенных датчиком контроля шума. Данное устройство представляет собой индикатор шума, встроенный в головной светильник, который обеспечивает информирование работника о превышении ПДУ шума, что означает необходимость применения средств защиты органа слуха.

Информирование работника осуществляется путем оснащения матрицы фонаря с белыми диодами дополнительно диодами красного цвета. Появление в световом потоке красного цвета сигнализирует о необходимости применения СИЗОС.

Основные функции разрабатываемого устройства:

- измерение уровня шума на рабочих местах горнорабочих;
- возможность сбора информации о суточном воздействии на работника, запись фактических уровней шума в течение смены;
- постоянная передача информации на пульт управления горного диспетчера;
- подача светового сигнала через световой поток о превышении уровня шума;
- информирование горного диспетчера об уровне шума и возможном превышении ПДУ на рабочем месте;
- и т.д.

Технический результат достигается тем, что индивидуальный головной фонарь оснащается датчиками измерения шума, световой или тактильной сигнализацией о наличии превышения.

Разрабатываемая система может быть оснащена дополнительными устройствами мониторинга ОВПФ на рабочих местах, а также системой геопозиционирования работника, с возможностью передачи информации на ПУ горного диспетчера.

С учетом прогнозируемого усложнения горно-геологических условий разработки и увеличения интенсивности работ по подземной добыче угля, а также внедрения нового оборудования и усовершенствования технологических процессов, решение задач обеспечения безопасности труда персонала добывающих предприятий имеет первостепенное значение для развития горнодобывающей отрасли России. Для снижения риска развития профессиональных заболеваний органов слуха необходимо продолжить разработку и усовершенствование систем мониторинга шума на рабочих местах при ведении подземных горных работ по добыче угля.

В дальнейшем предполагается разработка системы мониторинга уровня шума на рабочих местах с возможностью совмещения инновационных направлений обеспечения безопасности работников горной промышленности.

Научный руководитель: к.т.н., доцент А.Н. Никулин

КРЮКОВА М.С.

Санкт-Петербургский горный университет

**ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛИНИЙ МЕТРОПОЛИТЕНА С
ДВУХПУТНЫМИ ТОННЕЛЯМИ В УСЛОВИЯХ ХОЛОДНОГО КЛИМАТА**

KRYUKOVA. M.S.

Saint Petersburg Mining University

**PROBLEMS OF OPERATION OF METRO LINES WITH DOUBLE-TRACK
TUNNELS IN A COLD CLIMATE**

Петербург является крупным мегаполисом с многомиллионным населением. Жизнь современного большого города невозможна без развития общественного транспорта, основную долю перевозок в котором выполняет метрополитен. Быстрые темпы развития метрополитена требуют использование современных тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК), которые позволяют проходить тоннели на глубине более 30 м в густонаселенных районах мегаполисов без повреждения поверхности земли и негативного влияния на состояние зданий и сооружений.

Опыт строительства двухпутных тоннелей показал, что происходит значительное снижение затрат (порядка 20-30%) и уменьшение сроков строительства в сравнении с однопутными тоннелями.

Вторым положительным моментом при эксплуатации двухпутных тоннелей является создание благоприятных условий для эвакуации людей из опасных зон в чрезвычайных ситуациях, поскольку в этом случае скорость их ходьбы выше, а пространство для маневра значительно больше.

Одной из основных инженерных систем, поддерживающих работу метрополитена, является система вентиляции, функционирование которой должно поддерживать создание нормативных климатических параметров воздуха в перегонных тоннелях и на станциях в штатных условиях, а также реализацию аварийных режимов, гарантирующих безопасное спасение людей в чрезвычайных ситуациях (например, пожары) и последующую ликвидацию чрезвычайной ситуации (тушение пожара).

На схемах 1 и 2 температура наружного воздуха соответствовала метеорологическим условиям Москвы: среднегодовое значение $5,4^{\circ}\text{C}$, средне зимнее значение $-4,6^{\circ}\text{C}$, средне январское значение $-7,8^{\circ}\text{C}$ и средняя температура для наиболее холодной пятидневки -25°C .

Анализ результатов расчёта температурного режима однопутных тоннелей в зимний период года показывает, что при увеличении интенсивности движения поездов происходит повышение температур тоннельного воздуха. Температуры циркуляционного воздуха во всех случаях имеют положительные значения. Температуры воздуха в тоннеле после смешения циркуляционного и холодного наружного воздуха только при средне зимних и средне январских значениях (интенсивность движения поездов превышает 20 пар/ч) оказываются выше нулевой величины. Для условий же наиболее холодной пятидневки температуры воздуха в тоннеле принимают отрицательное значение при всех значениях интенсивностей движения поездов.

При использовании для проветривания двухпутных тоннелей схемы вентиляции, поступление холодного наружного воздуха в тоннель приводит к снижению температуры воздуха в центральной части перегонного тоннеля до температуры атмосферного воздуха. При движении воздуха в направлении станций его температура вследствие влияния теплоты от поездов и других источников, а также теплообмена с окружающими породами, монотонно повышается. Однако, если для средне-зимней и средне-январской температур наружного воздуха температура стационарного воздуха достигает нормативной величины, то для температуры наиболее холодной пятидневки температура воздуха в тоннеле по всей длине перегона, в том числе на станции, имеет отрицательное значение. Помимо этого, значительные участки перегонных тоннелей, примыкающие к вентиляционным стволам, будут эксплуатироваться в условиях отрицательных температур, что, приведет к снижению безопасности движения.

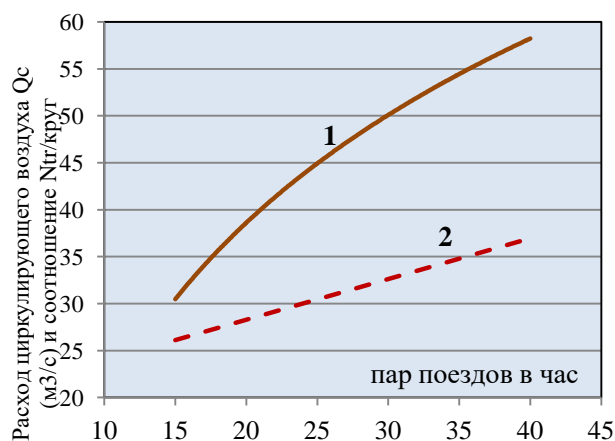


Схема 1. Влияние часового движения поездов (пар поездов) на величину циркуляционных потоков и отношение тепла, выделяемого поездами, к потоку циркулирующего воздуха
1-циркуляция потребляемого воздуха
2- соотношение

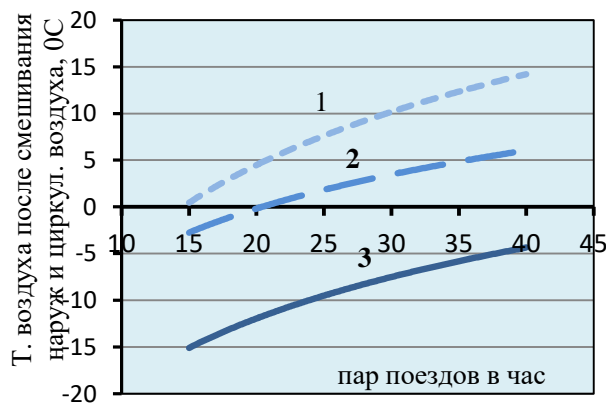


Схема 2. Влияние часового движения поездов (пар поездов) на температуру воздуха после смешивания холодного наружного воздуха и циркулирующего воздуха для зимних периодов, января и самого холодного пятидневного периода, соответственно
1-средне-зимняя температура
2-средне-январская температура
3-средняя температура холодной пятидневки

Существующие проблемы в использовании двухпутных тоннелей:

- вопрос обеспечения нормативных климатических условий и эффективного проветривания тоннелей (в том числе переходной участок, соединяющий два однопутных тоннеля и один двухпутный большего диаметра)
- особенности аэродинамических параметров при одновременном движении поездов навстречу друг другу;
- эффективное использование теплоты, выделяющейся в воздух от поездов для подогрева наружного воздуха в зимнее время.

Использование традиционных схем проветривания двухпутных тоннелей в подавляющем большинстве климатических условиях России может потребовать в

зимнее время искусственного подогрева наружного воздуха перед подачей в стволы перегонных шахт. Поскольку схемы вентиляции, применяемые для однопутных тоннелей могут привести к снижению температуры до температуры атмосферного воздуха. В результате получаем снижение преимуществ в использовании двухпутных тоннелей.

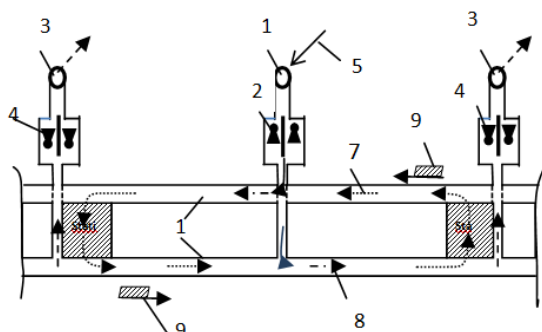


Рисунок 1. Схема вентиляции однопутных тоннелей метрополитена

(1 – вентиляционная шахта приточного воздуха; 2 – вентилятор приточного воздуха; 3 – вентиляционная шахта станции; 4 – вытяжной вентилятор; 5 – наружный воздух; 6 – вытяжной воздух; 7 – циркуляционный воздух; 8 – смесь наружного и циркуляционного воздуха; 9 – направление движения поезда; 10 – перегонные тоннели).

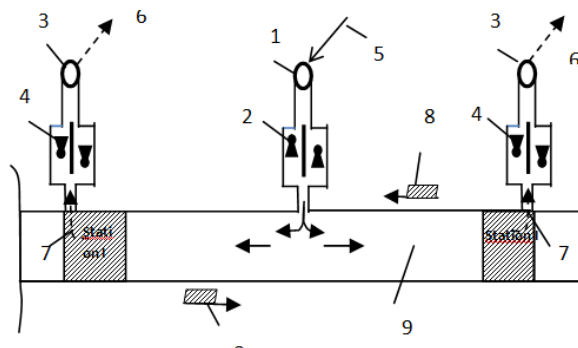


Рисунок 2. Система вентиляции для двухпутного тоннеля метро

(1 - вентиляционная шахта нагнетания в середине проходного тоннеля; 2 – вентилятор нагнетания; 3 – вентиляционная шахта станции; 4 – вытяжной вентилятор; 5 – наружный воздух; 6 – вытяжной воздух; 7 – вытяжной воздух; 8 – направление движения поезда; 9 – перегонный тоннель).

При эксплуатации двухпутных тоннелей поршневой эффект сводится к минимуму, что порождает отсутствие циркуляционных потоков, следовательно, понижение температуры из-за атмосферного воздуха. Альтернативным вариантом повышения температуры воздуха, подаваемого в тоннель, может являться создание искусственных циркуляционных потоков по типу однопутных тоннелей. Источниками организации циркуляции в этом случае будут не движущиеся поезда, а вентиляторы, устанавливаемые в станционных комплексах.

Одна из возможных схем вентиляции двухпутных тоннелей, с помощью которой представляется возможным создать искусственную циркуляцию воздуха, предполагает использование специального вентиляционного канала, расположенного у свода тоннеля (подшивного потолка)(рисунок 2). Включение в системы вентиляции метрополитенов вентиляционного канала дает возможность создать циркуляционный контур между станцией и центральной частью перегона за счет подачи в вентиляционный канал теплого воздуха непосредственно со станции.

Выводы:

Таким образом, в предлагаемом техническом решении речь идет об организации в зимний период искусственных управляемых циркуляционных потоков, которые будут оказывать влияние на формирование микроклимата. Использование вентиляционного канала в тоннеле позволяет отказаться от размещения перегонных вентиляционных узлов. Следовательно, появляется возможность существенно повысить эффективность защиты от дыма путей эвакуации людей при пожаре и организации удаления дыма, как из тоннеля, так и со станций.

Список литературы:

1. СП 120.13330.2012 Метрополитены. Актуализированная редакция СНиП 32-02-2003 (с Изменениями N 1-4).
2. Amano K., Mizuta Y., Hiramatsu Y. An Improved method of Predicting Underground Glimate. Int.J.Rock Mecn. Min. Sci. Geomech. Abstr. 1962, Vol.19, p.31-38.
3. Yushkovsky E.M. (1981). «Air circulation in the subway ventilation systems with different venting schemes» «Ventilation of coal mines and ore mines» J. 8. L.: LGI Publishing House, 104-111.
4. СП 298.1325800.2017 Системы вентиляции тоннелей автодорожных. Правила проектирования (с Изменением N 1).

Научный руководитель: д.т.н., профессор С.Г. Гендлер

КУРСНОВ И.Ю.

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАССОПЕРЕНОСА АЭРОЗОЛЕЙ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТОДОМ ПУЛЬСАЦИИ

KURNOSOV I.YU.

National University of Science and Technology "MISIS"

IMPROVING THE EFFICIENCY OF MASS TRANSFER OF AEROSOLS FROM MINING OPERATIONS BY PULSATION

На сегодняшний день существует большое количество различных методов, позволяющих оценить то или иное воздействие на концентрацию аэрозолей горнодобывающей промышленности. Такие аэрозоли состоят в основном из мелкодисперсных частиц горной породы, находящихся во взвешенном состоянии в воздухе рабочего объема шахты, горных выработок, различных зданиях и сооружениях горнодобывающего производства. Так же данные частицы в последствии оседают на технологическом и силовом оборудовании, инструментах, инвентаре и прочих материальных ресурсах производства, что может приводить к выводу из строя этого оборудования, поломкам и остановке части технологического процесса.

Поскольку в основном горнодобывающая отрасль связана с возникновением среднелдисперсных (5-25мкм) аэрозолей (пыль), то снижение концентрации таких аэрозолей в воздухе с затратой минимального количества времени является основополагающей целью данного исследования. А использование различных физических методов для ее достижения (пульсирующая вентиляция, жидкостное орошение, ультразвуковая коагуляция и др.) актуальнейшей задачей, решение которой вероятно, способствует возможности управлять массопереносом исследуемых в работе аэрозолей.

Ввиду того, что задачи исследования подразумевают использование методов, еще не применяющихся для снижения концентрации пыли в воздухе рабочей зоны и

времени осаждения этой пыли, требуется наличие аналитических (расчетных) данных и практических (экспериментальных) наработок. Для проведения эксперимента требовалось разработать методику, согласно которой будут получены необходимые эмпирические данные, согласующиеся с предыдущими исследованиями.

На данный момент разработана методика по проведению эксперимента по самоосаждению пыли. В данной методике учитывается размер исследуемых частиц пыли (≤ 10 мкм), скорость движения воздуха, при которой пыль будет равномерно перемешиваться в воздушной массе лабораторной установки, и время самоосаждения исследуемой пыли. На основании того, что исследуемая пыль должна быть ≤ 10 мкм, полученную пыль горнодобывающего производства требовалось перемолоть, но перед этим обязательно убедиться в ее пожаровзрывоопасности. Для этого исследуемая пыль, массой 1 г, была направлена на рентгенофазовый анализ для получения химического состава пыли. Дифрактограмма результатов приведена на рисунке 1. Результаты расшифровки данной дифрактограммы приведены в таблице 1.

Из таблицы 1 можно сделать вывод, что пыль имеет перспективно большой процент содержания железа (78,98 %). Сера в данной пыли так же присутствует (5,54 %), что может говорить о невозможности использования пыли в металлургическом производстве без предварительной очистки. Так же в пробе обнаружен кальций и магний (8,43% и 3,55% соответственно). Поскольку проба не содержит органических соединений, а элементы потенциально способные к возгоранию находятся в минимальном количестве, исследуемую пыль можно переработать в шаровых мельницах для достижения требуемого в методике размера частиц.

Поскольку исследуемую пыль можно использовать в экспериментах по пылеосаждению и найти время самоосаждения для пылей разных концентрацией, то на основе этих данных можно сравнить, в одних условиях, эффективность

пульсирующей вентиляции, орошения и ультразвуковой коагуляции, тем самым выявив наилучший из представленных методов. В последствии данный метод можно будет использовать на горнодобывающих предприятиях для ускорения процесса осаждения пыли.

JS-1_30 (D-8)

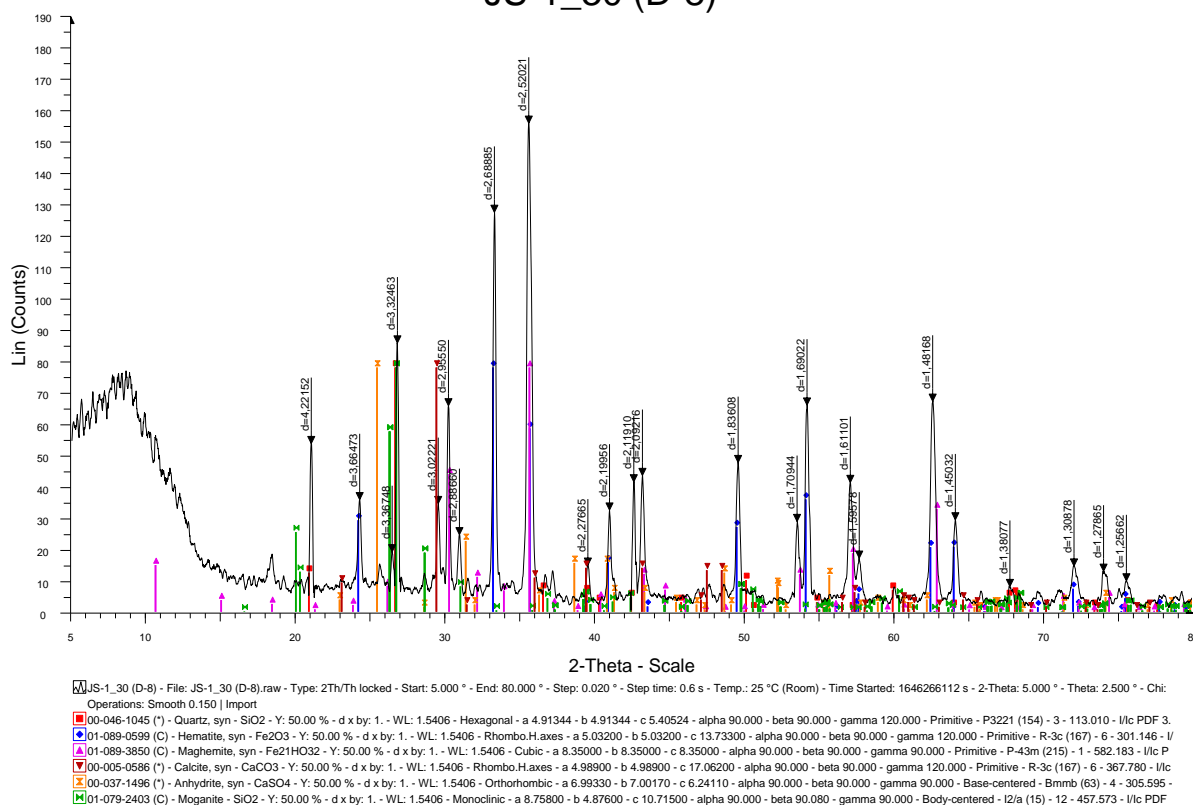


Рисунок 1. Дифрактограмма рентгенофазового анализа для определения минералогического состава пробы пыли

Таблица 1. Процентное содержание элементов в пробе исследуемой пыли

X	Si	Cl	Al	Fe	K	Na	Ca	Ti	Mg
%	5,54	-	1,83	78,98	0,11	-	8,43	0,19	3,55
X	Ba	S	Mn	Zr	Sr	Cu	Rb	Zn	Sn
%	-	0,75	0,45	0,01	0,03	0,03	-	0,05	-
X	Y	Nb	Cr	Ni	Pb	Br	I		
%	-	-	0,03	-	-	-	-		

Список литературы:

1. Филин А.Э., Овчинникова Т.И., Зиновьева О.М., Меркулова А.М. Развитие пульсирующей вентиляции в горном производстве // Горный журнал. — 2020. — № 3. — С. 67—71. DOI: 10.17580/gzh.2020.03.13.
2. Kulikova E. Yu., Balovtsev S. V. Risk control system for the construction of urban underground structures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 962(4), 042020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/4/042020>.
3. Филин А.Э. Перспективы обеспечения безопасности горного производства // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — 2016. — № 5. — С. 31—33.
4. Кузнецова Д.А. Оптимизация параметров орошения при различных производственных процессах, сопровождающихся пылевыведением, в зависимости от свойств выделяющейся в рудничную атмосферу пыли // Вестник

научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2016 - №4 – С. 74 – 82.

5. Статников Ю.Г., Широкова Н.Л. К расчету эффективности акустической коагуляции аэрозолей // Акустический журнал (АИАН СССР) с. 117-120 (1974)
6. Коршунов Г.И., Ковшов С.В., Сафина А.М. Методы борьбы с пылью на открытых горных работах. современное состояние физико-химических исследований // European Research.- 2017- № 1. – С. 9 – 11
7. Ультразвуковая коагуляция аэрозолей: монография / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, К.В. Шалунова, С.Н. Цыганок, Р.В. Барсуков, А.Н. Сливин; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 241 с
8. Давыдов С. Я., Валиев Н. Г., Суслов Н. М., Семин А. Н., Ермолаев А. И. Пылеобразование и использование пыли горных пород на промышленных объектах // Известия УГГУ. – 2016 - Вып. 3 (43). - С. 87-90.

Научный руководитель: д.т.н., профессор А.С. Филин

ХЕРВЕ ЛОСАЛАДЖОМЕ М.
Мапонский университет

**ОПТИМИЗАЦИЯ И ПЛАНИРОВАНИЕ РАБОТЫ КОБАЛЬТОВОГО РУДНИКА:
НА ПРИМЕРЕ КАРУ-ВОСТОЧНОГО КАРЬЕРА/ПРОВИНЦИЯ ВЕРХНЯЯ
КАТАНГА, ДР КОНГО**

HERVE LOSALADJOME M.
Maçon University

**OPTIMIZATION AND PLANNING OF A COBALT MINE OPERATION: A CASE
OF THE KARU-EAST OPEN PIT MINE/HAUT- KATANGA PROVINCE, DR
CONGO**

As governments and private actors around the world seek to reduce greenhouse gas emissions from transportation, they are turning primarily to electric vehicles as a solution. When powered by an increasingly renewable electricity grid, electric vehicles offer the potential to significantly reduce carbon emissions compared to internal combustion engine vehicles. The global transition from fossil fuel powered vehicles to electric vehicles will require the production of hundreds of millions of batteries for these vehicles. Such massive deployment raises concerns about the availability of minerals needed to make these batteries, such as cobalt, lithium, and nickel, and the potential impact of the new demand for these minerals on the lives of people in mineral-producing countries. If managed effectively and in the public interest, the growth of these minerals can stimulate national development in many developing and emerging economies.

The economy of the Democratic Republic of Congo is based primarily on mining products, mainly copper and cobalt. These two products provide the Congolese government with the foreign exchange revenue it needs to support the national economy. The Democratic Republic of the Congo has more than 50% of the world's cobalt reserves and is the world's

leading producer with more than 60% of production. In terms of applications, cobalt is not only strategic but also critical.

The Karu-East mine, one of the scales of the Kasonta Lupoto Mines polygon, located 25 km northwest of the city of Lubumbashi, in the Haut-Katanga province of the Democratic Republic of the Congo. This study includes the estimation of the mineral resources of the deposit through the construction of a numerical block model, the determination of the optimal pit, the final mine design as well as the mine planning of the deposit in the long term for a 5-year mine plan. Starting with a campaign of 71 core drillings, two software packages were used, namely Geovia Surpac and Geovia MineSched, to achieve the various objectives.

The Geovia Surpac software allowed us to make a statistical study of the cobalt variable which, after logarithmic transformation, followed a lognormal distribution whose skewness and kurtosis coefficients are respectively -0.369700 and 3.085230. The mineral resources contained in the deposit were then evaluated at a volume of 4,459,500 BCMs, or a tonnage of 9,810,900 tons at an average grade of 0.76 % Co for a cut-off grade of 0.5 % and a density of 2.2. The pit was optimized at a price of 47,000 USD /ton, which is the average price of cobalt over the last ten years. The estimated mining reserves contained in the project amounted to a volume of 3,750,250 BCMs, or a tonnage of 8,250,550 tons with an average grade of 1.57% Co.

The Geovia Minesched software enabled us to run the long-term mining planning over the five years. The mining of the tenement has been divided into four cuts or phases, the total planned volume of ore to be mined for plant feed is estimated at 2,339,966.27 BCMs or a tonnage of 5,147,925.8 tons. Regarding the resources capacity, four VOLVO 250 DM excavators susceptible to produce 5,000 BCMs/day are required. The curve of feed grade has shown that grades are equal to or greater than the plant Cut-off grade of 1%.

In conclusion, this research has made it possible to highlight and quantify the mineral resources and mining reserves of Cobalt contained in the Karu-East open pit mine, taking into account the various technical and economic parameters involved in the optimization and planning of open pit mining operations.

List of references:

1. Biyakaleza B., (2008). Three-dimensional geological modeling and evaluation of the mega-fragments of the Ruashi Polygon in D.R.C., Polytechnic Faculty, University of Mons, Mining Engineering Service, PhD.
2. Geoffroy F., (2007). Study of techniques used in the development on an open pit deposit, Mines Paris Tech, Center of Geosciences, Ground and Underground Option, Research Report.
3. Mugwagwa D., (2017). Cut off grade optimisation for a Bimetallic Deposit: A Case of Study of the Ruashi Mine Copper – Cobalt Deposit, University of Witwatersrand, Johannesburg, Faculty of Engineering and the Built Environment, Research Report
4. Van- Dunem (2010) – Open Pit Mine Production Scheduling under grade uncertainty, Colorado School Mines, Mining and Earth Systemes Engineering, PhD.

Supervisor of Studies: PhD in Mineral Process, Professor Jimmy Kalenga K.K.

МАККОЕВ В.А.
Санкт-Петербургский горный университет

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАБОЙКИ В УСЛОВИЯХ ВЗРЫВАНИЯ РАЗНОПРОЧНЫХ МАССИВОВ

МАККОЕВ V.A.
Saint Petersburg Mining University

FEATURES OF USING STEMMING IN THE CONDITIONS OF MULTI- STRENGTH ARRAYS BLASTING

В работе рассматривается вопрос использования забоечного материала при ведении буровзрывных работ в условиях вечной и сезонной мерзлоты, при наличии резкого различия в физико-механических свойствах горных пород по высоте уступа.

В условиях современного развития разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом первоочередную роль в повышении их результативности занимают буровзрывные работы. На основе создания подготовленной к выемке горной массы в достаточных объемах и надлежащего качества дробления реализуются последующие процессы добычи полезных ископаемых. Это обеспечивает в большей степени эффективное и в полной мере достаточное использование погрузочно-доставочного оборудования [1].

Благодаря немалочисленным трудам [2, 3] полагается, что применение забойки оказывает значимое положительное воздействие на работу взрыва [4, 5]. Считается, что благодаря забойке обеспечивается полнота детонации взрывчатого вещества, что ведет за собой выделение максимально возможного количества энергии взрыва, увеличивает продолжительность действия взрыва и его КПД, а кроме того, препятствует увеличению расстояния разлета отдельных кусков горной массы [6].

Практический опыт ведения буровзрывных работ показывает, что не всегда забойка применима для повышения полезного действия энергии взрыва. В первую очередь это наблюдается на карьерах в холодное время года, при сезонном промерзании породного массива наблюдается повышенный выход негабарита при ведении взрывных работ с использованием забойки.

Целью данной работы является проверка гипотезы о неизменно положительном влиянии применения забойки при ведении буровзрывных работ и благоприятного эффекта запирающего воздействия забоечных материалов.

Место проведения испытаний – месторождения республики Саха, Куранахское рудное поле. Район месторождения имеет неоднородное строение породной толщи, присутствуют породы и руда различной степени крепости, трещиноватости, буримости и взрываемости. Большая часть пород, слагающих массив, относятся к трудновзрываемым и средней трудности взрывания. Осложнением является большое содержание глинистых включений, что означает наличие такого затрудняющего фактора в ходе эксплуатации месторождения, как наличие «мерзлой корки» пород в

зимний период, следствием чего является увеличение выхода «глинистых негабаритов».

Для решения поставленных задач было проведено в общей сложности 6 промышленных взрывов. Используемое взрывчатое вещество – Гранулит РП. Каждый рабочий блок был обурен 200-250 скважинами диаметром 233 мм. Конструкция заряда варьировалась в зависимости от требуемых условий эксперимента.

Для проведения экспериментальных исследований использовались стандартные методы оценки воздействия энергии взрыва на породный массив [7]. В данном конкретном случае, ввиду резкого различия в физико-механических свойствах горных пород по высоте уступа, был применен метод пересчета негабаритных кусков [8-10].

Сбор данных первой серии проводился по трем опытными взрывам с использованием забоечного материала, по длине забойки превышающего мощность деятельного слоя. Сбор данных второй серии опытов проводился по трем опытными взрывам без использования забоечного материала с расположением сплошного или рассредоточенного заряда взрывчатого вещества таким образом, чтобы покрывной торец верхней части заряда или его сегмента находился выше нижней кромки слоя сезонной мерзлоты.

Как показали проведенные эксперименты, при взрывании неоднородного массива горных пород с более прочным покрывающим слоем, преобладающее значение имеет наличие заряда взрывчатого вещества на уровне упроченного покрова, по сравнению с применением забойки. Исследования показывают, что в определенных условиях забойка оказывает отрицательное воздействие на эффективность взрыва. Из-за запирающего эффекта, создаваемого забоечным материалом, продукты детонации совершают работу по переизмельчению и уплотнению нижней части уступа, а с верхней части увеличивается выход негабаритной фракции. Представленные данные подтверждаются снижением выхода негабаритной фракции с 20 до 10%, если брать в сравнение принимаемые показатели для первой и второй серий опытно-промышленных взрывов.

В качестве направления использования результатов проведенных экспериментов следует отметить прикладное значение экспериментов и возможность использования в текущих горнопромышленных условиях на месторождениях с весьма сложным геологическим строением.

Проверке подлежала гипотеза о бесспорно положительном эффекте применения забоечного материала в скважинных зарядах [11, 12]. В условиях исследуемого месторождения, в данном конкретном случае в зимний период времени при наличии слоя сезонного промерзания пород качество подготовки руды к выемке повышается при взрывании без забойки.

При проведении буровзрывных работ в условиях сезонной мерзлоты и в сложной горнотехнической и горно-геологической ситуации не всегда имеет место положительный эффект от применения забоечного материала, что было подтверждено опытным путем.

Список литературы:

1. Лещинский А.В. Забойка взрывных скважин на карьерах / А.В. Лещинский, Е.Б. Шевкун. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. Гос. Ун-та, 2008. – 224 с.
2. Беляев А.Ф. О природе фугасного и бризантного действия взрыва / А.Ф. Беляев, М.А. Садовский // Физика горения и взрыва. 1952. № 1. С. 32–38.
3. Буровцов В. П. Физико-технические обоснования параметров забойки и оценка ее роли в управлении действием взрыва скважинных зарядов на карьерах / В.П. Буровцов, В.П. Тарасенко // Проблемы взрывного дела: Сб. ст. и докл. № 1. 2002. М.: МГГУ, 2002. С. 5–9.
4. Демидюк Г. П. Влияние забойки на степень дробления горных пород взрывом // Взрывное дело № 53/10. М.: Недра. 1963. С. 96–105.
5. Демидюк Г. П. О повышении степени полезного использования энергии взрыва // Взрывное дело № 60/17. М.: Недра, 1966. С. 237–254.
6. Sevizci H.A. Newly developed plaster stemming method for blasting // J. S. Afr. Inst. Min. Metall. 2012. Vol.112. №12. pp.1071-1078.
7. Оценка влияния качества взрыва на процессы открытых горных работ / А.Н. Караманов, Ж.Р. Искандаров, А. Мардонов, О.Р. Хайитов // International Scientific Practical Conference. – 2019. – с. 3-6.
8. Вареничев А.А. Область применения метода определения гранулометрического состава пород с помощью масштабной рамки / А.А. Вареничев, В.Ф. Мынто // Взрывное дело 1984. № 86/43.
9. Взрывная отбойка сдвоенных уступов на карьере Тейского месторождения / И.В.Машуков, С.Н.Эйсмонт, Г.П.Ермак, А.А.Терещенков // Физические проблемы разрушения горных пород: Сб. трудов 4-й Междунар. науч. конф. 18-22 октября 2004 / ИПКОН РАН. М., 2005.
10. Добрынин А.А. Метод оперативной оценки качества дробления горных пород взрывным способом / А.А. Добрынин, И.А. Добрынин // Записки Горного Института. 2009. (180). С. 71.
11. Konya C.J., Konya A. Effect of Hole Stemming Practices on Energy Efficiency of Comminution / Awuah-Offei K. (eds) Energy Efficiency in the Minerals Industry. Green Energy and Technology. Springer, Cham. – 2018.
12. Zong-Xian Zhang, Yang Qiao, Li Yuan Chi, De-Feng Hou, Experimental study of rock fragmentation under different stemming conditions in model blasting, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. Vol. 143. 2021.

Научный руководитель: к.т.н., доцент С.В. Хохлов

МЕДОВА Е.А.
Санкт-Петербургский горный университет

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НОРМИРОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ
ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ ПОЛЕЗНЫХ
ИСКОПАЕМЫХ НА ОСНОВЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА**

MEDOVA E.A.
Saint Petersburg Mining University

**IMPROVEMENT OF REGULATORY ACTIONS OF THE CONTENT OF
POLLUTANTS IN THE OPEN-PIT MINING ON THE BASIS OF A RISK-BASED
APPROACH**

В работе предлагается обоснование применения используемой австралийскими специалистами модели «Brief and Scala Model» для перерасчета значения предельно-допустимой концентрации (ПДК) в зависимости от времени нахождения работника в зоне повышенных концентраций вредных газов после проведения массового взрыва на месторождениях полезных ископаемых России. Принцип данной модели основан на корректировании ПДК в зависимости от количества часов, отработанных за 24-часовой рабочий день, и периода времени между экспозициями. Установленная зависимость потенциального риска неспецифических эффектов при хронической интоксикации от времени пребывания работника в зоне повышенных концентраций оксидов азота позволяет сделать вывод, что при больших концентрациях оксидов азота время пребывания работника на рабочем месте должно быть ограничено.

Актуальность исследования. Открытая разработка полезных ископаемых с проведением взрывных работ широко применяется на месторождениях России и зарубежных стран, например, Австралии. В свою очередь, австралийские специалисты осуществляют деятельность в странах по всему миру, в том числе в России. На месторождениях, где ведутся взрывные работы, существует ряд опасных и вредных факторов, наиболее распространенным из которых является загрязнение воздуха рабочих зон компонентами газов, представляющими собой комбинацию оксидов азота и оксидов углерода. Повышение в воздухе рабочих зон концентрации оксидов приводит к острым отравлениям и профессиональным заболеваниям персонала горнодобывающих предприятий, таких как острый отек легких.

Ежегодно растет количество рабочих мест, которые не соответствуют требованиям гигиенических нормативов. Например, в России в регионах, где расположены крупные предприятия, осуществляющие добычу полезных ископаемых открытым способом с применением буровзрывных технологий, отмечается значительное количество проб атмосферного воздуха с превышением предельно-допустимой концентрации диоксида азота. В Австралии открытый способ разработки полезных ископаемых занимает лидирующее положение по показателю частоты острых отравлений.

Мониторинг оксидов азота усложняется тем, что в разных государствах на законодательном уровне есть существенные различия, при этом ни одна из методик не способна снизить негативные показатели.

Методы исследования. На первом этапе исследования был проведен сравнительный анализ нормативно-правовой базы по воздуху рабочей зоны на примере Российской Федерации и Австралии. Расчет рассеивания облака диоксида азота после проведения взрывных работ на примере карьера «Центральный» АО «Карельский окатыш» был проведен в Унифицированной Программе Расчета Загрязнения Атмосферы. Была построена математическая модель зависимости профессионального риска от времени пребывания работника в зоне повышенных концентраций оксидов азота.

Основная часть. Для сравнительного анализа опыта решения проблемы рассматривалась нормативно-правовая база по воздуху рабочей зоны на примере Российской Федерации и Австралии. В России показатель ПДК оксидов азота составляет 5 мг/м³, а в Австралии – 9,55 мг/м³. Для моделирования процесса рассеивания газового облака после взрыва с учетом внешних условий на предприятии, осуществляющем добычу полезных ископаемых открытым способом, был выбран карьер «Центральный», расположенный на территории АО «Карельский окатыш». Расчет был произведен для летнего периода года, скорость воздуха не превышает 10 м/с (средняя температура в июне), средний валовый выброс диоксида азота равен 12,44 г/с.

Однако в Австралии гигиеническое нормирование химического фактора предполагает наличие двух ПДК, вторая из которых является среднесменной и составляет 5,6 мг/м³ (3 ppm). В Австралии применяется модель «Brief and Scala Model», принцип которой основан на корректировании ПДК в зависимости от количества часов, отработанных за 24-часовой рабочий день, и периода времени между экспозициями.

Для условий, когда работники находятся в зоне повышенных концентраций оксидов азота в течение длительного времени, был рассчитан потенциальный риск отравления. Была определена зависимость потенциального риска от времени, в течение которого работник находится в зоне повышенных концентраций оксидов азота, и зависимость скорректированной ПДК от времени.

Выводы. Таким образом, был рассмотрен процесс рассеивания облака диоксида азота на примере карьера «Центральный» АО «Карельский окатыш». Далее на основании анализа подходов к мониторингу диоксида азота в России и в Австралии была обоснована методика, позволяющая адаптировать гигиеническое нормирование по химическому фактору к тем условиям, когда работник находится в зоне повышенных концентраций оксидов азота в течение разного времени. Чем дольше работник карьера находится в зоне повышенных концентраций оксидов азота, тем большему риску он подвергается.

Список литературы:

1. Safe Work Australia. Standards for Workplace Exposure to Airborne Contaminants, National Standard of Australia; Safe Work Australia: Canberra, Australia, 2020; ISBN 978-1-76051-898-1.
2. Queensland Guidance Note – QGN 20 Management of oxides of nitrogen in open cut blasting. Department of Employment, Economic Development and Innovation.
3. Приказ от 6 июня 2017 N 273 Об утверждении Методов расчета рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе [Электронный ресурс] / Техэксперт. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/901902053>

Научный руководитель: д.т.н., профессор С.Г. Гендлер

НКАЛЕ КАРЕЛ Б., Н. КЕЙЛ, КИСЕЯ ФЛОРИ Т.
Университет Лубумбаши
БУКАСА ПИТЧУ М.
Университет Намибии

**ВЗРЫВНО-ФРАГМЕНТАРНЫЙ АНАЛИЗ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД.
ТЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКРЫТОГО КАРЬЕРА КИШИБА,
ПРОВИНЦИЯ ВЕРХНЯЯ КАТАНГА, ДР КОНГО**

NKALE KAREL B., KISEYA FLORY T.
University of Lubumbashi
BUKASA PITCHOU M.
University of Namibia

**BLAST FRAGMENTATION ANALYSIS OF ROCKS MASSES. A CASE STUDY OF
THE KISHIBA OPEN PIT MINE /HAUT- KATANGA PROVINCE, DR CONGO**

The blast fragmentation operation at the open pit of Kishiba encounters serious problems leading to its poor efficiency. Several facts have been observed, among which a repeated occurrence of toes and boulders, a power factor that more often considerably deviates from the theoretical one and a poor size distribution of the muck pile, to quote but a few. This situation has made that the secondary blasting is performed daily at this mine. This entails drill and blast costs increase, and therefore, that of the overall extraction.

This thesis aims at conducting a thorough blast fragmentation analysis of the rock masses, in order to detect possible causes and then formulate recommendations to insure desired fragmentation can be obtained.

In order to achieve this goal, the drilling and blasting operations were considered separately. The analysis of the quality of the drilling operation considered the differences between the measured drillhole depths and those suggested by the planning section. From this data, the standard deviations for each drill pattern could then be calculated.

As for the quality assessment of the blasting, a data base gathering thirty blasts records made it possible for the powder factor swings assessment. The second part of the analysis considered the measurement of size distribution of blasted rock using digital image processing with « Split-Desktop ».

Lastly, we go on to use the Kuz-ram model in sight of comparing the obtained results with those previously generated by « Split-Desktop ».

The obtained results showed considerable gaps of drillhole depths with respect to the planning. Furthermore, it has been proven in this thesis that, when carried out in the transition zone or in the sulfides, blasting operations show gaps ranging from 14 to 34% bench cube meters, thus calling for a secondary blasting.

For the drill pattern with the most satisfying yield (86.45%, with a Standard deviation of 0.8 m), the measurement of the size distribution with Split-Desktop gave 109 mm and 189 mm respectively for the mean size (P50) and P80. The primary crusher installed at the mine accepts the feed size as large as 900 mm and crushes down to the 112 mm. 51% of the fragments are below 112mm. This percentage has been enhanced up to 80% with the Kuz-ram model by adjusting the Spacing and Burden, the subdrilling as well as the stemming height.

The proposed parameters are 3.5 m*3.5 m for the Spacing and Burden, 1 m for the Subdrill and 3 m for the Stemming.

The last section about the drill and blast costs estimates resulted in 2.29\$/bcm in the Sulfides and 2.99\$/bcm in the transition zone, with respectively 34% and 14% of bench cube meters requiring secondary blasting. The secondary blast costs 3.42\$/bcm. The drill and blast cost using the proposed parameters is 2.74\$/bcm.

List of references:

1. Gokhale B.V., (2011). Rotary Drilling and Blasting in Large Surface Mines.
2. Johnson Catherine E., (2014). Fragmentation Analysis in the Dynamic Stress Wave Collision Regions in Bench blasting. University of Kentucky. PhD thesis
3. Adebola J. M. et al., (2016). Rock Fragmentation Prediction using Kuz-Ram Model. Journal of Environment and Earth Science. ISSN: 2225-0948
4. Afum, B O and Temeng, V A (2014). Reducing drill and blast cost through blast optimization – A case study. 3rd UMaT Biennial International Mining and Mineral Conference. pp137-145.
5. Cunningham, C.V.B. (2005). The Kuz-Ram fragmentation model – 20 years on. In Holmberg R. et al., Brighton Conference Proceedings. European Federation of Explosives Engineers.
6. F.I. Siddiqui et al, (2009). Measurement of Size Distribution of Blasted Rock Using Digital Image Processing.
7. Kanchibotla S. et al., (1999). Modelling fines in blast fragmentation and its impact on Crushing and grinding. Julius Kruttschnitt Mineral Research Center. University of Queensland.
8. Konya Calvin J., (2013). Controlling Drilling and Blasting Costs.
9. Orica, (2012). controlling fragmentation. International conference.

Supervisor of studies: Ph.D. Mining Engineering, Senior Lecturer Pitchou M. Bukasa

НКУЛУ РЕДИС Н.
Университет Лубумбаши

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ
РАБОЧИХ СТЕНДОВ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

NKULU REDEACE N.
University of Lubumbashi

**MATHEMATICAL MODELLING OF THE RATE OF THE MOVEMENT OF
OPEN-PIT MINE WORKING BENCHES**

The present work proposes a method for determining the rate of the movement of working benches open pit mine developing a strong inclined mineral deposit using the Laplace transform technique. The developed model describes this rate as a function of time that allows to monitor the development of mining operations based on specific geotechnical properties of rock to be mined in time.

Relevance of the studies

Determining the production capacity (of a mine, ore processing plant or refinery) is one of the major strategic issues that are addressed in the strategic and/or long-term planning of a mining project. This techno-economic parameter has an important influence not only on variable production costs, but also on the profitability indicators of a mining project such as net present value (NPV). Several scientists have conducted research on this topic and have contributed to the establishment of the three laws of creation of the working space of an open pit mine (the law of dynamism of working faces, Law of proportional development of mining operations on adjacent working benches and the law of relationship between rates of reduction of mining operations and movement of working benches) [1][2][3].

Research objectives and methods

The objectives pursued in this work were to find the partial derivative of the independent variables of the rate of the movement of the working benches of open pit mine according to the time, and to determine its first order differential equation.

Main part

According to the law of the dynamism of working faces [1], the maximum production capacity or production rate (A_p) is directly proportional to the rate of decrease of production operations (h_o)

$$A_p = h_o S_p \gamma \quad (1)$$

where: S_p – cross sectionnal area of orebody within the boundaries of an open pit, m^2 ; γ – specific volume, t/m^3 .

The rate of decrease in production operations is in turn also directly proportional to the rate of the movement of the working benches v [1]

$$h_o = v / (\cot \varphi \pm \cot \gamma) \quad (2)$$

where v – average horizontal rate of movement of working benches (pit wall), $m/year$; φ – average slope angle of working benches (pit wall), ($^\circ$); γ – angle of the inclination of the orebody, ($^\circ$).

The rate of the movement of working benches depends directly on the productivity of the excavator (inversely proportional to the bench height and/or length of the mining block):

$$v = Q / (h L_b) \quad (3)$$

where Q – productivity of excavator, $\frac{m^3}{year}$; h – bench height, m ; L_b – mining block, m .

Equation (3) allows us to see the rational progress of the mining operations and to calculate the rate of benches movement in the working pit wall side for the entire mine. This way of expressing this parameter means that it would be constant for the life of the mine if the productivity of the excavator Q the bench height h and the length of the mining block L_b are also constant. However, in practices, the rate of movement of the working benches cannot be the same at all times t of the life of the mine since the parameters (Q , h and L_b) which allow to determine it change in time due to different mechanical properties of the rocks encountered during the exploitation based on rock classification indicators such as the Mining Rock Mass Rating (MRMR) [4]. For this reason, in this work, it is suggested that writing of equation (3) should take into account function (4) and variation in time of the independent variables as shown in equation (5).

$$v = v(Q, h, L_b) \quad (4)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\partial v}{\partial Q} \frac{dQ}{dt} + \frac{\partial v}{\partial h} \frac{dh}{dt} + \frac{\partial v}{\partial L_b} \frac{dL_b}{dt} \quad (5)$$

Thus we can obtain a differential equation (6) of the first order:

$$\begin{cases} v'(t) = \frac{1}{hL_b}Q(t) + \frac{1}{h^2L_b}h(t) + \frac{1}{hL_b^2}L_b(t) \\ v(0) = Q/(hL_b) \end{cases} \quad (6)$$

Results and areas of their use

Since the geotechnical domains mined during a given period differ from one point to another in the rock mass, then the function of the productivity of an excavator for example for the whole life of the mine will be a step function in time as in figure 1.

The solution of equation (6) can easily be done using the Laplace transform due to the presence of step functions (figure 1):

$$\mathcal{L}\{v'(t)\}(s) = \mathcal{L}\left\{\frac{1}{hL_b}Q(t) + \frac{1}{h^2L_b}h(t) + \frac{1}{hL_b^2}L_b(t)\right\}(s) \quad (7)$$

Thus the velocity of the movement of working benches as a function of time can be determined by equation (8)

$$v(t) = \mathcal{L}^{-1}\{v(t)\}(s) \quad (8)$$

Where : s – Laplace domain.

Conclusions and contributions by each author

The resulting function (8) is a mathematical model of the rate of movement of the working benches of an open pit mine as a function of time and allows one to monitor the evolution of mining operations in relation to the planning and geotechnical properties of the material to be excavated over time. Following this logic, it is therefore recommended to determine the maximum production rate of an open pit mine given in equation (1) as a function of the rate of decrease of the mining operations which depends on the rate of movement of the working benches in time as described in equation (8).

List of references:

1. A.I. Arsentyev Productivity of open-pit mines / A.I. Arsentyev. Saint Petersburg Mining Institute. SPb, 2002. 85pp.
2. S.I. Fomin, "Open pit productivity and demand of mineral commodity", St Petersburg, 1999. 167p.
3. G.A Kholodnyakov, P.V Andrievsky, P.M Bukasa, (2007): Stabilization of Open Pit Mine Productivity Using Graph of Minimum Operating Waste Volumes", Proceedings of the 5th and 10th Scientific Practical Conferences: Development of Mineral Resources in the North of Russia, Problems & Solutions, pp. 141-143. [Russia]
4. B. KABEZYA, Application of a geotechnical model block in the short-term planning of an open pit mine "Case of the North Mutoshi project", 2017.

Supervisor of studies: Ph.D. Mining Engineering, Senior Lecturer Pitchou M. Bukasa

ПАН СЕНЛИН

Китайский университет горного дела и технологий

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ИМИТАЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ НИЗКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ НА ВЗРЫВ ГАЗА**

PAN SENLIN

China University of Mining and Technology

**EXPERIMENT AND SIMULATION STUDY ON THE EFFECT OF LOW-
CONCENTRATION COAL DUST ON GAS EXPLOSION**

This paper puts forward the effect of low-concentration coal dust on gas explosion.

Relevance of studies: This study is meaningful for the pipeline transportation and safe utilization of natural gas, but also boasts a theoretical reference value for the prevention and control of gas-coal dust explosion in coal mines.

Research objectives and methods: In order to study the effect of low-concentration coal dust on gas explosion characteristics, a gas explosion experiment with the participation of low-concentration coal dust was performed by using HongYuan technology research and development of JiLin HY164268 gas/dust/fluid fog test apparatus for coal dust-gas mixture explosion. And based on computational fluid dynamics (CFD) code FLACS, numerical models of gas explosions in a 20L sphere model were developed and verified by comparing with testing data.

Results: (1) Firstly, the explosion characteristics of gas are studied by using 20L ball explosion system. 5.5%, 7.5%, 9.5%, 11.5% and 13.5% gas were selected in the experiment. The experimental results show that P_{max} of gas explosion first increases and then decreases with the increase of its concentration; And when the gas concentration is 11.5%, the explosion pressure P_{max} (Peak explosion pressure) reaches the maximum. Therefore, the best explosion concentration of gas in this experiment is 11.5%;

(2) When coal dust is involved in gas explosion, the influence of ignition delay on gas explosion is studied by using 20L ball explosion system. The ignition delays are selected as 40ms, 60ms, 80ms and 120ms respectively. The experimental results show that under the same gas concentration, when the ignition delay time is 60ms, the explosion pressure P_{max} of gas is the peak value of explosion parameters; The optimum ignition delay is 60ms.

(3) The 20L ball explosion experimental system is used to analyze the participation of coal dust of two different coals (anthracite and bituminous coal); The selected coal dust concentrations are $10g/m^3$, $30g/m^3$, $50g/m^3$ and $70g/m^3$ respectively. It is found that the explosion P_{max} of gas coal gas mixture is always greater than that of anthracite gas mixture when the same quality of coal dust is added; The analysis shows that the higher the volatile content of pulverized coal, the greater the explosion P_{max} of the mixture;

(4) The effects of different concentrations of coal dust on gas explosion were studied by 20L ball explosion experimental system. The selected coal dust concentrations are 10g

$/m^3$, $30g/m^3$, $50g/m^3$ and $70g/m^3$ respectively; It is found that when the gas concentration is less than or equal to 9.5%, the P_{max} of gas and coal dust mixed explosion is much greater than that of gas simple explosion. When the gas concentration is a certain value, there is an extreme explosion concentration in the explosion pressure generated by adding coal dust to participate in the explosion, which makes the gas coal dust mixed explosion P_{max} reach the peak. When the coal dust concentration is greater than or less than the extreme explosion concentration, the mixture explosion P_{max} will decrease; 11.5% and 13.5% gas and coal dust mixed explosion, and the extreme explosion concentration of coal dust is $10g/m^3$;

(5) Based on the similarity theory, the mathematical model and geometric model of 20L ball explosion are constructed. The explosion simulation of different concentrations of gas and bituminous coal dust is carried out by using the professional software FLACS in the explosion field. The results show that in the gas explosion with coal dust, with the increase of bituminous coal dust concentration, P_{max} first increases and then decreases, and the extreme explosion concentration of coal dust is $9.1g/m^3$.

Conclusions: (1) The addition of coal dust can increase the peak pressure of gas explosion, and the mixture explosion P_{max} will decrease if the dust concentration is greater than or less than the extreme explosion concentration ($10g/m^3$ for the experiment, and $9.1g/m^3$ for the numerical simulation).

(2) Under the same coal dust concentration and the same gas concentration, the gas explosion pressure of bituminous coal dust is always greater than that anthracite coal dust.

Contributions by each author: Senlin Pan: Writing -original draft, Writing-review and editing, Formal analysis. Shuguang Jiang: Supervision, Conceptualization.

List of references:

1. Bayless DJ, Schroeder A. The effects of natural gas co-firing on the ignition delay of Yulverized coal and coke Yarticles. Combustion Science and Technology, 1994(98):185-198.
2. WilfredE B. Tang M J. Gas, dust and hybrid explosions. Elsevier Science Publishing Company, Inc. New York, 1991.
3. W. Rybak, W. Moron, W. Ferens. Dust ignition characteristics of different coal ranks, biomass and solid waste. Fuel, 237 (2019), pp. 606-618, 10.1016/j.fuel.2018.10.022

Supervisor of studies: Doctor of Engineering, Professor Shuguang Jiang

ПОГОСЯН Д.К.
Национальный политехнический университет Армении

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦЫ МЕЖДУ КАРЬЕРОМ И ПОДЗЕМНЫМ
РУДНИКОМ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ РАЗРАБОТКЕ СОТСКОГО
ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ С РАЗМЕЩЕНИЕМ ОТВАЛЬНЫХ
ХВОСТОВ**

POGHOSYAN D.K.
National Polytechnic University of Armenia

**DETERMINATION OF THE BORDER BETWEEN QUARRY AND
UNDERGROUND MINING IN COMBINED DEVELOPMENT OF THE SOTK'S
GOLD DEPOSITS WITH PLACEMENT OF TAILINGS**

В работе предлагаются условия равенства граничного и контурного коэффициентов вскрыши, определение границ между открытыми и подземными горными работами при комбинированной разработке Сотского золоторудного месторождения с учетом размещения отвальных хвостов в сооруженных в выработанном пространстве подземных пустот: до горизонта 2243 м целесообразно эксплуатацию вести открытыми, а за контурами карьера - подземными горными работами.

Актуальность исследования. Сотское золоторудное месторождение Армении представлено крутопадающими весьма мощными жильными зонами и оруденелыми дайками, тонкими жилами и жилообразными телами, которые имеют значительную глубину залегания, что обуславливает необходимость рассмотрения комбинированного открыто-подземного способа разработки. В таких условиях обоснование оптимальных параметров комбинированной разработки месторождения сводится к определению границ между открытыми и подземными горными работами.

В работе [1] из условия равенства граничного и контурного коэффициентов вскрыши определена граница между открытыми и подземными горными работами: до горизонта 2250 м целесообразно эксплуатацию вести открытыми, а за контурами карьера - подземными горными работами. При этом длина транспортировки добытой руды по железнодорожному пути от Сотского рудника до Араратской золотоизвлекательной фабрики составляет 270 км, а удельные затраты перевозки – 11.8 США \$/т.

В то же время доказанно принципиальная возможность формирования подземных пустот при комбинированном способе эксплуатаций мощных и весьма мощных рудных тел, представленных неустойчивым породно-рудным массивом, что позволяет объединить главные преимущества открытого и подземного способов разработки с одновременным созданием подземных пустот для размещения отвальных хвостов [2].

Следовательно, для повышения эффективности освоения Сотского месторождения, сокращения транспортных затрат за счет использования выработанного пространства для размещения отвальных хвостов - это актуальная задача.

Цели и методы исследования. Цель работы - обоснование границ между открытыми и подземными горными работами при комбинированной разработке Сотского золоторудного месторождения с учетом размещения отвальных хвостов в сооруженных в выработанном пространстве подземных пустот.

Методы исследования. Решение задачи по определению граничного коэффициента вскрыши на основе максимума прибыли по отработке запасов месторождения предопределяет и методику определения глубины открытых работ: она должна быть установлена из условия равенства граничного и контурного коэффициентов вскрыши.

Задаче обоснования граничного коэффициента вскрыши $K_{гр}$ посвящено много исследований, один из которых методика проф. Ю. А. Агабаляна [3 и 4].

В случае когда целесообразно осуществлять комбинированную открыто-подземную разработку месторождения, формулы по определению граничного коэффициента вскрыши имеют следующий вид:

$$K_{зр2} = a_{\phi} d_1 + d_2 \quad (1)$$

$$d_1 = \frac{(K_{но} - K_{нп})}{K_{но}} b_1 \quad (2)$$

$$b_1 = \frac{Ц_{к} K_{ко}}{(\beta_{к} - \theta) Z'_{в}} \quad (3)$$

$$d_2 = \left(\frac{a_{\min n} K_{нп}}{K_{но}} - \frac{\theta}{K_{но}} \right) b_1 - \frac{Z'_{до}}{Z'_{в}} \quad (4)$$

где $K_{но}$ и $K_{нп}$ – коэффициенты извлечения руды из недр при открытом и подземном способах разработки соответственно, доли единицы; $a_{\min n}$ – минимальное промышленное содержание полезного компонента при подземном способе разработки, г/т.

Зависимость содержания полезного компонента в хвостах обогащения от его содержания в руде хорошо аппроксимируется уравнением прямой

$$\theta = a\alpha_{\phi} + b \quad (5)$$

где α_{ϕ} – содержание полезного компонента в добытой руде ($\alpha_{\phi} = \alpha K_{к}$), г/т; а и b – постоянные численные коэффициенты при переработке данных руд.

При производстве сплава Доре, который является конечным продуктом Араратской золотоизвлекательной фабрики, минимальное промышленное содержание золота при подземном способе разработки $\alpha_{\min n}$ определяется по формуле:

$$\alpha_{\min n} = \frac{D_{\min n} + b u_{\phi}}{u_{\phi} (1 - a) K_{кн}}, \quad (6)$$

где $D_{\min n}$ – денежное выражение минимального промышленного содержания золота при подземном способе разработки, США \$/т; u_{ϕ} – цена 1 г золота в сплаве Доре, США \$/г; $K_{кн}$ – коэффициент изменения качества руды при подземном способе добычи, доли единицы.

Основная часть. На основе расчетных технико-экономических показателей установлен граничный коэффициент вскрыши при комбинированном способе разработки рассматриваемого месторождения с учетом размещения отвальных хвостов в подземных пустотах (таблица 1).

Таблица 1. Результаты расчета граничного коэффициента вскрыши при комбинированном способе разработки с учетом размещения отвальных хвостов в сооруженных подземных пустотах

Наименования показателей	Единица измерения	Значения показателя
1	2	3
Содержание золота в недрах, α	г/т	4.64
Цена 1 г золота, α_{Γ}	США \$/г	50.0
Содержание золота в хвостах переработки ($\theta = 0,13K_{к.о}\alpha + 0,1$)	г/т	0.61
Постоянный численный коэффициент при переработке данных руд, a	-	0.13
Постоянный численный коэффициент при переработке данных руд, b	-	0.10
Себестоимость добычи при открытом способе разработки (без вскрыши) и переработки 1 т руды ($Z_{дп}$), в том числе: - себестоимость добычи при открытом способе разработки (без вскрыши) ($Z_{д}$) - себестоимость транспортировки до Араратского золотоизвлекательной фабрики (Z_{Γ}) - себестоимость переработки ($Z_{пер}$)	США \$/т США \$/т США \$/т США \$/т	29.2 2.3 2.0 24.9
Удельные затраты выемки и удаления 1 т вскрышных пород ($Z_{в}$)	США \$/т	1.3
Коэффициент извлечения руды из недр при открытом способе разработки ($K_{н.о}$)	-	0.97
Коэффициент извлечения руды из недр при подземном способе разработки ($K_{н.п}$)	-	0.95
Коэффициент изменения качества руды при открытом способе добычи ($K_{к.о}$)	-	0.85
Коэффициент изменения качества руды при подземном способе добычи ($K_{к.п}$)	-	0.94
Минимальное промышленное содержание золота при подземном способе разработки [$\alpha_{\min.п} = (D_{\min.п} + b\alpha_{\Gamma})/(\alpha_{\Gamma}(1 - a)K_{к.п})$]	г/т	1.8
Денежное выражение минимального промышленного содержания золота при подземном способе разработки ($D_{\min.п} = Z_{дп} - Z_{ГКР}$)	США \$/т	70.0
Граничный коэффициент вскрыши при комбинированном открыто подземном способе разработки ($K_{ГР2} = \alpha d_1 + d_2$): - $d_1 = (K_{н.о} - K_{н.п})/K_{н.о}b_1$; - $d_2 = (\alpha_{\min.п}K_{н.п}/K_{н.о} - \theta/K_{к.о})b_1 - Z_{дп}/Z_{в}$; - $b_1 = \alpha_{\Gamma}K_{к.о}/Z_{в}$.	т/т - - -	11.7 0.0006 11.72 32.7

Результаты и направления их использования. Формула определения контурного коэффициента вскрыши ($K_{\text{кон}}$, т/т) в зависимости от высотной отметки дна карьера ($H_{\text{д}}$) в диапазоне 2223-2266 м имеет следующий вид [1]:

$$K_{\text{кон}} = \frac{36315}{H_{\text{д}}} - 4,49. \quad (7)$$

Приравнивая формулу по определению контурного коэффициента вскрыши (7) в граничного коэффициента вскрыши при комбинированном способе разработки с учетом размещения отвальных хвостов в сооруженных подземных пустотах и решив уравнение относительно величине $H_{\text{д}}$, получим значение оптимальной границы горизонта между открытыми и подземными горными работами – высотная отметка горизонта составляет 2243 м.

Результаты применимы при технико-экономических расчетах по обоснованию параметров кондиций.

Выводы и вклад автора. Применение комбинированного способа разработки с размещением отвальных хвостов в сооруженных подземных пустотах позволяет сокращать затраты транспортировки руды до перерабатывающей фабрики, что для конкретного Сотского рудника приводит к снижению границ горизонта между открытыми и подземными горными работами в размере 14 м – от 2257 м до 2243 м.

Все расчеты произведены автором.

Список литературы:

1. Оганесян А.Г., Алавердян А.А. и Карслян С.С. Обоснование оптимальных параметров комбинированной разработки золоторудного месторождения // Горный журнал. – М., 2020. – N5. – С. 29–33.
2. Патент РА N731Y. Способ образования подземных пустот / Оганесян А.Г., Погосян Д.К. – Ереван, 2022.
3. Агабалян Ю. А. Общая теория оптимального освоения недр (твердые полезные ископаемые). – Saarbrucken, Германия: Palmarium Academic Publishing, 2015. – 288 с.
4. Агабалян Ю. А. Методология оптимального освоения недр. // ВЕСТНИК ГИУА. СЕРИЯ «Металлургия, материаловедение, недропользование». – Ереван, 2012. – Вып. 15. – N1. – С. 56 – 65.

Научный руководитель: д.т.н, профессор А.Г. Оганесян

РЯДИНСКИЙ Д.Э.
Санкт-Петербургский горный университет

**УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ВЗРЫВНОГО ДРОБЛЕНИЯ ГОРНОЙ МАССЫ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕЗУЛЬТАТОВ ФОТОГРАММЕТРИИ
ОТКОСОВ**

RIADINSKII D.E.
Saint Petersburg Mining University

**CONTROLLING THE QUALITY OF EXPLOSIVE CRUSHING OF ROCKMASS
USING THE RESULTS OF PHOTOGRAMMETRY**

Актуальность исследования

Взрывные работы являются наиболее эффективным и экономичным способом для дробления горных пород в большинстве случаев. При правильном выполнении взрывных работ можно получить экономическую эффективность на последующих операциях, таких как погрузка, транспортировка и дробление. Плохо спроектированный взрыв может привести к высокому выходу негабаритных фракций, а также, из-за большого разлета кусков взорванной горной массы, нанести серьезный ущерб оборудованию и создать потенциально опасные условия для людей. На данный момент существуют технологии, снижающие выход негабаритных кусков горной массы и разлет кусков. В данной статье представлена технология фотограмметрии откосов, которая позволяет правильно планировать взрывные работы и предоставлять быстрые и точные данные о состоянии блока, подлежащего взрыву. Представленная в статье система 3G BlastMetrix использует трехмерную (3D) стереофотограмметрию для быстрого, практичного и безопасного моделирования массива горных пород. С помощью метода наложения изображений создается 3D-модель с тысячами точек, которые предоставляют значительный объем данных о геологических, геометрических и топографических условиях [1]. На основе этих данных может быть составлен проект на массовый взрыв таким образом, чтобы оптимизировать фрагментацию горной породы и избежать участков с высоким разлетом кусков взорванной горной массы [2].

Методы исследования

Фотограмметрический метод сбора данных довольно прост и быстр. Этот метод состоит в том, чтобы сделать пару фотографий откоса уступа с двух разных ракурсов. Далее загрузить их в программу, которая реконструирует эти изображения для создания виртуальной модели поверхности горного массива. Трехмерное пространственное изображение позволяет пользователю идентифицировать и определять неоднородности горного массива [3].

Основная часть

Полевая процедура сбора фотографий заключается в следующем: прежде чем делать фотографии, нужно расположить мишени у откоса уступа, которые будут

использоваться в качестве эталонов масштабирования. Все мишени имеют определенные конфигурации с точными размерами.



Рисунок 1. Установленные мишени у откоса уступа

Для фотографирования должен быть подобран объектив камеры в зависимости от расстояния от места расположения камеры до откоса уступа и требуемой детализации.

Для создания 3D-проекта взрыва необходимы более двух изображений, представляющих одну и ту же часть уступа: минимум одно слева и одно справа от центра проектируемого уступа. Чтобы обеспечить качественное слияние, изображения должны иметь перекрытие не менее 25%, чтобы программа могла правильно объединить изображения [1].

Затем изображения объединяются для создания одного полного трехмерного изображения.

Проектирование скважины проводится в два этапа.

На первом этапе с помощью двух метрических лент собираются все координаты скважин, которые впоследствии вводятся в программу 3D.

На втором этапе используется штанговая системы Boretrak для исследования пробуренных скважин и измерения отклонения бурения.

В программе генерируется 3D-изображение уступа с тысячами точек, которые обеспечивают точность геологических, геометрических и топографических условий уступа [1].

Для каждой точки на поверхности определяется расстояние до ближайшей скважины и окрашивается в соответствии с определенной нагрузкой. Диапазон допусков может быть установлен в зависимости от диаметра скважины и плотности породы. Зеленым отмечены те области, где нагрузка находится в пределах определенного

диапазона, что указывает на лучшую фрагментацию. Красные области подвержены потерям энергии и большому разлету взорванной горной массы, а синие области указывают на возможность выхода негабарита.

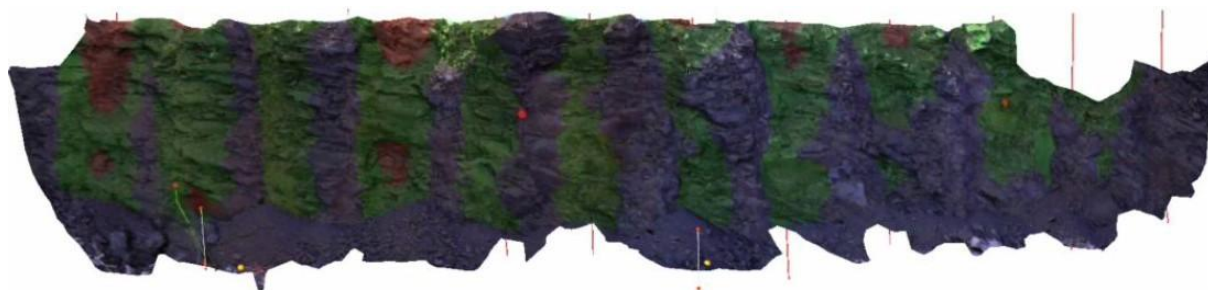


Рисунок 2. Визуализация нагрузок по всей площади поверхности

Выводы

Настоящая работа направлена на то, чтобы показать, насколько эффективнее проектирование взрывов с помощью фотограмметрических систем. Оптимизируя дробление горной массы, можно сократить время и затраты на добычу полезного ископаемого. Метод позволяет быстро, безопасно и точно анализировать геологические и геометрические характеристики массива горных пород, а также оптимизировать фрагментацию после взрыва.

Список литературы:

1. Wang P., Qin T., Huang Z. et al., Fast identification of geometric properties of rock discontinuities based on 3D point cloud, Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, vol. 40, no. 3, pp. 503–519, 2021, in Chinese.
2. Dworzak M., Nowak-Senderowska D., Pyra J. Comparison of Hazards During Blasting Operations in Surface Mining. (in Polish) Zeszyty Naukowe IGSMiE PAN, 2017, 101:265-278.
3. Haneberg, W. C., Experience using close range terrestrial digital photogrammetry for 3-D rock slope modeling and discontinuity mapping in the United States. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2008, Volume 67, Issue 4, pp 457-469.

Научный руководитель: к.т.н., доцент В.А. Ишейский

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМЫ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ НА ОКОНТУРИВАНИЕ РУДНЫХ ТЕЛ

SAHAKYAN N. H.
National Polytechnic University of Armenia

INFLUENCE OF THE UNDERGROUND MINING SYSTEM ON THE DEFINITION OF ORE BODIES

На примере одного золотополиметаллического рудного тела показано влияние системы подземной разработки на оконтуривание рудных тел.

Актуальность исследования. Выбор оптимальной системы разработки для каждого рудного тела или отдельной его части является весьма ответственной и исключительно сложной задачей. От применяемой системы разработки зависят показатели функционирования горно-обогатительного предприятия, а также параметры кондиций, которые являются инструментом для оконтуривания и подсчета балансовых запасов полезного ископаемого [1].

Цели и методы исследования.

Цель работы сводится к представлению зависимости оконтуривания рудных тел от системы подземной разработки.

В настоящее время на базе одного из золотополиметаллического месторождения функционирует подземный рудник, где применяется система разработки с подэтажной отбойкой [2].

На основе этой системы разработки обоснованы основные параметры кондиций, из которых на оконтуривание рудных тел влияют:

- 1) бортовое содержание условного золота в пробе – 1,9 г/т;
- 2) некондиционные руды, оставляемые в недрах в виде целиков, интервалы которых по простиранию с содержанием условного золота представлены в нижеследующей табл. 1.

Таблица 1

Мощность рудного тела, м	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
Содержание, г/т	11,4	8,6	6,8	5,7	4,9	4,3	3,8	3,4	3,3	3,2	3,1	2,9	2,7	2,4	2,4	2,3	2,2

Вышеотмеченными параметрами кондиций произведен подсчет запасов руды и металлов одного рудного тела, проекция которого на вертикальную плоскость представлена на рис. 1.

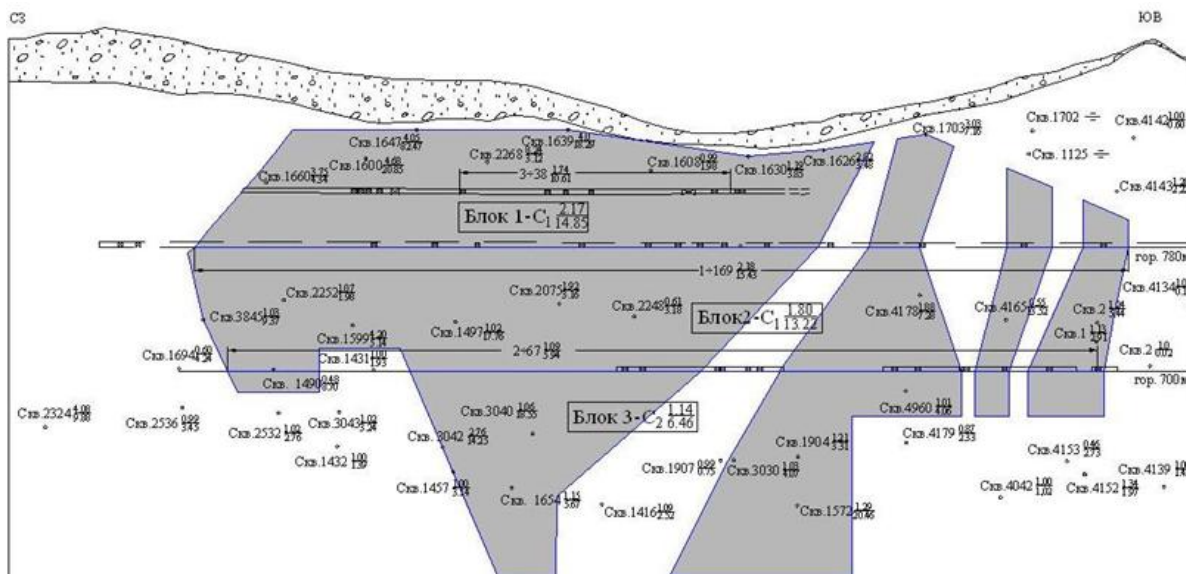


Рисунок 1. Проекция рудного тела на вертикальную плоскость при использовании системы разработки подэтажными штреками

В работе [2] обоснована нецелесообразность используемой на руднике системы разработки подэтажными штреками при мощности рудного тела свыше 1,2 м, рекомендована к внедрению система горизонтальными слоями с твердеющей закладкой, а при мощностях рудного тела меньше отмеченной выше величины - подэтажными штреками со щелевой выемкой руды.

На основе предложенных технологических решений выполнен расчет следующих параметров кондиций:

- для рудных тел мощностью до 1,2 м бортовое содержание условного золота в пробе составляет 1,8 г/т, а при больших мощностях - 2,1 г/т;
- к некондиционным рудам относить интервалы рудного тела по простиранию с содержанием условного золота ниже показателей табл. 2:

Таблица 2

Мощность рудного тела, м	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
Содержание, г/т	3,0	2,7	2,5	2,4	2,3	2,2			2,1	0,8					0,7		

Основная часть. На основе рассчитанных параметров кондиций произведен подсчет запасов руды и металлов того же рудного тела, проекция которого на вертикальную плоскость представлена на рис. 2.

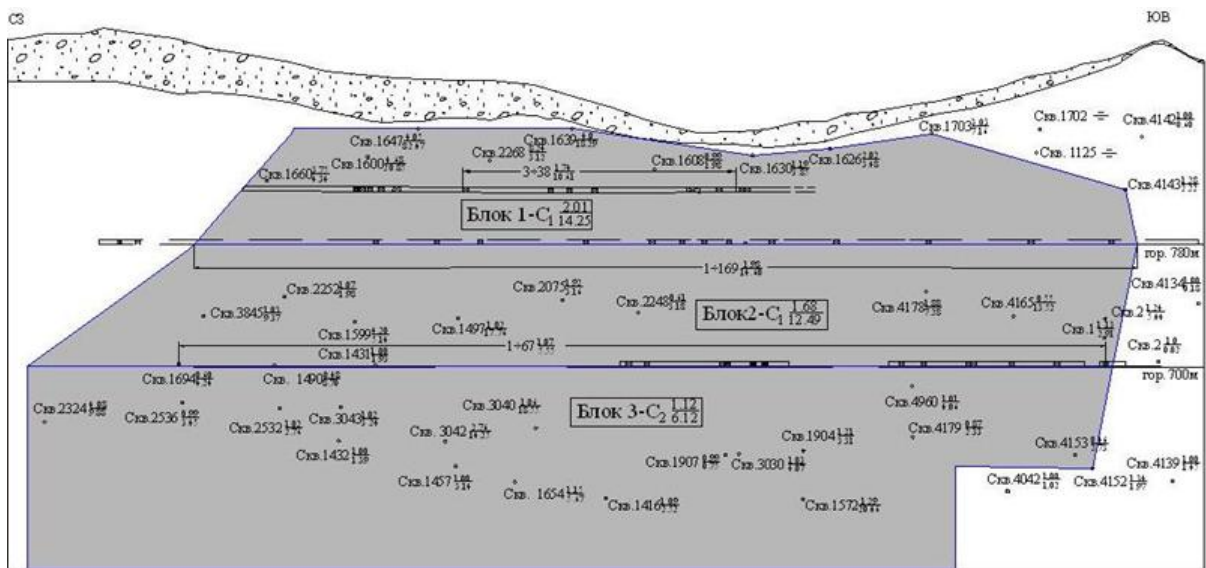


Рисунок 2. Проекция рудного тела на вертикальную плоскость при совместном использовании системы разработки подэтажными штреками со щелевой выемкой руды и горизонтальными слоями с твердеющей закладкой

Результаты и направления их использования. Результаты подсчета запасов руды и металлов при использовании системы разработки подэтажными штреками (вариант 1) и предложенный вариант использования систем разработки подэтажными штреками со щелевой выемкой руды и горизонтальными слоями с твердеющей закладкой (вариант 2) приведены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты подсчета запасов руды и металлов при использовании варианта 1 и предложенного варианта 2

Номера блоков	Запасы металлов (вариант 1)						Запасы металлов (вариант 2)					
	Запасы руды, тыс. т	Cu, т	Zn, т	Pb, т	Au, кг	Ag, т	Запасы руды, тыс. т	Cu, т	Zn, т	Pb, т	Au, кг	Ag, т
БЛОК 1-C ₁	153.6	1299	9372	1675	1445	18	169.0	1413	9896	1793	1520	20
БЛОК 2-C ₁	155.4	1413	10214	1703	1185	18	192.2	1703	11925	2019	1378	21
БЛОК 3-C ₂	72.1	611	2361	190	220	5	211.1	1712	6599	552	609	13
ВСЕГО	381.2	3323	21947	3568	2851	41	572.2	4829	28420	4364	3507	53

Представленный пример показывает как влияет система разработки на оконтуривание рудных тел, и следовательно на подсчет запасов руды.

Выводы и вклад каждого автора.

Если при промышленной оценке месторождения с обоснованием параметров кондиций произведен неправильный выбор оптимальной системы разработки, то можно сделать заключение о необоснованности подсчитанных запасов полезного ископаемого, которые заложены в основу проектирования.

Часть расчетов произведены автором.

Список литературы:

1. Агабалян Ю. А. Общая теория оптимального освоения недр (твердые полезные ископаемые). – Saarbrücken, Германия: Palmarium Academic Publishing, 2015. – 288 с.
2. Агабалян Ю.А., Оганесян А.Г., Алавердян А.А., Агабалян Ю.А. /мл./ Критерии выбора системы подземной разработки золотополиметаллического месторождения // Горный журнал. – Москва, 2013. – N2. – С. 105-108.

Научный руководитель: д.т.н., профессор А.Г. Оганесян

СТЕПАНЦОВА А.Ю.

Санкт-Петербургский горный университет

**ЗАКРЫТЫЕ СКЛАДЫ КАК БЕЗОПАСНЫЙ СПОСОБ ВРЕМЕННОГО
СКЛАДИРОВАНИЯ УГЛЯ**

STEPANTSOVA A.U.

Saint Petersburg Mining University

**CLOSED WAREHOUSES AS A SAFE WAY FOR TEMPORARILY
COAL STORAGE**

В работе рассматривается проблема сокращения негативного влияния на окружающую среду пыления угольных штабелей, которые служат для временного складирования угля. Одним из способов сокращения выбросов угольной пыли является осуществление всех технологических операций, связанных с разгрузкой, хранением и перегрузкой угольной массы в складах закрытого типа. На основе анализа технологических процессов, осуществляемых в закрытых угольных складах, установлено, что их эксплуатация осложняется появлением проблем, которые отсутствуют при размещении угольных штабелей на поверхности. Эти проблемы связаны с поступлением во внутреннее пространство закрытого склада остаточного метана, содержащегося в угольных отдельностях, возможностью самовозгорания угля при длительном времени его хранения, образованием опасных для здоровья людей концентраций угольной пыли.

Необходимость решения всех этих проблем для обеспечения безопасности и эффективности эксплуатации закрытых угольных складов и определяет актуальность данного исследования.

Методы исследования включают экспериментальные исследования динамики процессов газообмена угольных отдельностями с воздухом, математическое моделирование полей концентраций метана и угольной пыли при эксплуатации склада.

Целью исследования является - управление метановой и пылевой обстановкой при эксплуатации закрытых угольных складов.

На сегодняшний день задача горнодобывающих компаний не только поднять на поверхность добытый на шахте уголь, но и доставить его потребителю при минимальных затратах. Одним из наиболее перспективных видов перевозки угля является морской способ, который предполагает использование железнодорожного транспорта для доставки угля до портовых терминалов, где он хранится на открытой территории непосредственно до погрузки на судно. Такая схема приводит к снижению качества угля из-за влияния внешних метеорологических факторов (ветер, дождь, снег), а также к значительному аэротехногенному воздействию на окружающую среду.

Помимо этого, с момента отбойки угля и до выгрузки его на место складирования непрерывно происходит процесс выделения метана из угля, что также создает ряд проблем.

Оптимальным решением может стать перегрузка и хранение угля в закрытых помещениях. Однако, при использовании закрытых угольных складов, становится актуальной проблема пыления, которая усугубляется еще и тем, что содержащийся в угле остаточный метан, попадая в воздух может привести к образованию взрывоопасных смесей.

Риск развития взрывоопасных ситуаций при эксплуатации закрытых угольных складов определяется достаточно высоким значением остаточной метаноносности, складываемых в штабель угольных отделистей, и возможностью образования образований мелких фракций угольной пыли в процессе разгрузки и погрузки угля.

Таким образом, безопасная эксплуатация закрытых угольных складов связана с необходимостью решения двух задач:

1. снижение до предельно допустимой концентрации метана в воздушной среде склада.
2. уменьшение до нормативных значений концентрации угольной пыли.

Для решения первой задачи, связанной с десорбцией метана из угля, требуется определить количество воздуха, необходимого для проветривания закрытого угольного склада, которое, в свою очередь, будет зависеть от остаточной метаноносности добытого угля.

Для определения величины метановыделения предлагается использовать расчетную схему, предполагающую два пути поступления метана в воздух (рисунок 1).

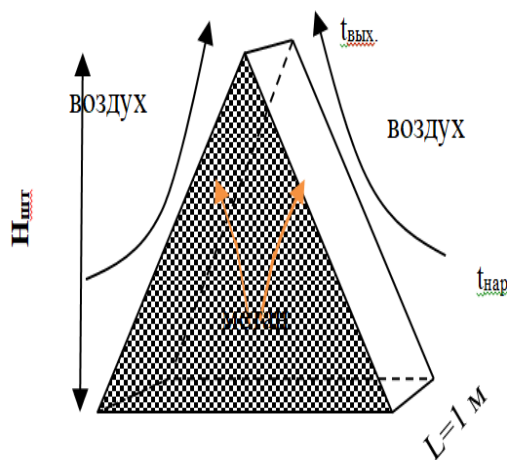


Рисунок 1. Схема газообмена воздуха с угольным штабелем

Вторая задача по достижению безопасных условий в закрытых угольных складах связана с угольной пылью, которая вкупе с выделяющимся газом метаном образуют при определенных условиях взрывоопасную смесь. Для снижения концентрации пыли необходимо разработать мобильные системы аспирации, которые могут свободно перемещаться по объему склада и быть задействованы по мере необходимости.

Таким образом, переход от хранения угля в открытых складах к хранению угля в складах закрытого типа является важным шагом по минимизации негативного влияния на окружающую среду, а также здоровье людей. Хранение угольного сырья на складах закрытого типа решает экологическую проблему, но в то же время, создает ряд проблем, связанных с обеспечением безопасной эксплуатации.

Риск появления взрывоопасных ситуаций при эксплуатации закрытых угольных складов определяется наличием в складываемом угле достаточно высоких значений остаточной метаносности, достигающей 5-7 м³/т, и образованием мелких фракций угольной пыли в процессе разгрузки и погрузки.

Концентрация метана в воздухе закрытого угольного склада определяется его остаточной метаносностью, размером угольных отделиностей, объемом угля, находящегося в угольном штабеле, и принятой кратностью воздухообмена.

Снижение концентрации пыли достигается на основе применения мобильных систем аспирации, которые могут свободно перемещаться по объему склада и быть задействованы по мере необходимости.

Список литературы:

1. Гендлер С.Г., Василенко Т.А., Альмухаметова С.Г. Обеспечение безопасных условий труда при эксплуатации закрытых угольных складов. //Безопасность Труда в Промышленности. 2021. № 10. С 35-39.
2. Черечукин В.Г., Любомищенко Е.И. Теоретические исследования влияния выхода летучих веществ на определение концентрационных пределов взрывоопасности угольной пыли//Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 5. С. 380–385.
3. Sikarev S. N. Development of a mathematical model of behavior of air flows in the territory of open port coal warehouses // Russian Journal of Water Transport. 2020. № 62. С. 20–26.
4. Носенко В.Д. Проблема исключения взрывов метана и угольной пыли в шахтах// Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 7. С. 274–286.
5. Фомин А.И., Ворошилов Я.С. Исследование влияния угольной пыли на безопасность ведения горных работ // Горная Промышленность. 2019. №1 (143) С. 33-36.

Научный руководитель: д.т.н., профессор С.Г. Гендлер

СУХОРУКОВА А. Ю

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.Горбачева

**УВЕЛИЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРНЫХ РАБОТ ПРИ ИХ
ПРОЕКТИРОВАНИИ В РАМКАХ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ**

SUHORUKOVA A. J.

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

**THE INCREASING OF LONGWALL MINING EFFICIENCY AT DESIGN STAGE
WITHIN LOCAL SAFETY REGULATIONS**

Определение нагрузки на забой по газовому фактору является областью научных изысканий на протяжении многих лет. Основные объекты таких исследований – относительная метанообильность и абсолютное метановыделение в очистную выработку (на выемочный участок). Результаты некоторых исследований второй половины XX века вошли в методики руководства [1], которое с 1989 года регламентирует расчёт допустимой нагрузки на забой по газовому фактору. В 2011 году был утверждён нормативный документ [2], регламентирующий проветривания выемочных участков шахт с изолированным отводом метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок (ГОУ). Некоторые исследователи и горные инженеры считают, что методика руководства [1] давно устарела и сдерживает потенциал увеличения суточной добычи.

Цель исследования – увеличение эффективности горных работ при их проектировании в рамках нормативной базы по расчёту нагрузки на забой по газовому фактору.

Для достижения этой цели необходимо:

- установить технологические параметры, входящие в нормативную методику [1];
- исследовать влияние технологических параметров на результат расчёта нагрузки на забой по газовому фактору;
- оценка эффективности горных работ при изменении технологических параметров.

Под технологическими параметрами понимаются элементы исследуемой методики, для которых при проектировании может быть задано то или иное значение в рамках технологических возможностей (параметры, определяемые технологией). В части решения первой задачи исследования установлено, что в нормативной методике руководства [1] присутствует 10 технологических параметров, влияющих на значение допустимой нагрузки на забой по газовому фактору. На первом этапе было выполнено исследование влияния двух технологических параметров, являющимися важнейшими параметрами очистных работ – длины очистного забоя l_3 и скорости его подвигания $V_{оч}$. Анализ методики показывает, что значения l_3 и $V_{оч}$ учитываются при определении важнейшего элемента расчёта – относительной метанообильности выемочного участка $q_{уч.р.}$

Длина очистного забоя l_3 изначально учитывается при расчёте коэффициента $k_{пл}$. Установлено, что при увеличении l_3 значение $q_{уч.р.}$ увеличивается, что снижает допустимую нагрузку на забой по газовому фактору $A_{ср.г.}$. По сути, коэффициент $k_{пл}$

учитывает ширину условного пояса газового дренирования угольного массива через поверхности обнажения пласта в подготовительных выработках. При длине очистного забоя более 200 м значение этого коэффициента близко к единице. Изменение этого коэффициента по мере изменения длины очистного забоя l_3 минимально, а значит минимально его влияние на значение $q_{уч.р.}$.

Для оценки эффективности горных работ при изменении технологических параметров $V_{оч}$ и l_3 были выполнены расчёты по представленной выше нормативной методике для двух вариантов проектирования горных работ. Рассмотрены выемочные панели с размером по падению $H_{пл} = 1400$ м и длиной выемочных столбов $l_{ст} = 1500$ м. Значения A_p определялись для целого числа выемочных циклов в сутки. Это необходимо для корректной оценки влияния скорости подвигания забоя.

Расчёты выполнены для системы разработки длинными столбами по простиранию с сохранением конвейерного штрека для повторного использования. За базовый (Б) принят вариант с длиной забоя $l_3 = 280$ м, в панели будет 5 выемочных столбов (рис. 1). При принятых исходных данных A_p будет не более чем 4445 т в сутки (6 выемочных циклов, $V_{оч} = 4,8$ м/сут).

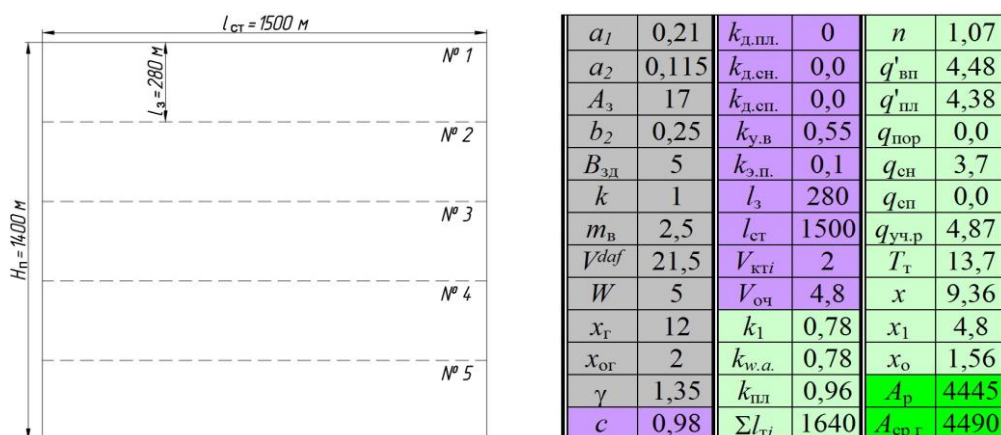


Рисунок 1. Раскройка панели и результаты расчёта базового (Б) варианта

В альтернативном варианте (А) значение l_3 уменьшено до 230 м, количество выемочных столбов будет 6 (рис. 2).

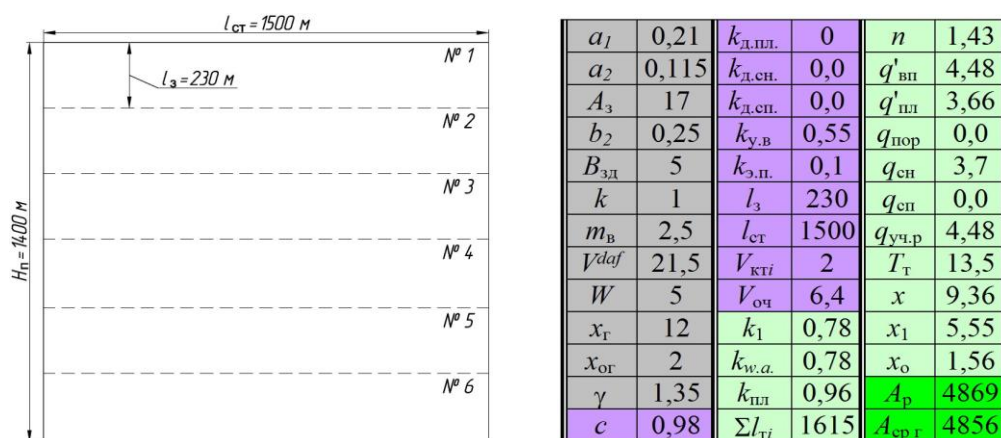


Рисунок 2. Раскройка панели и результаты расчёта альтернативного (А) варианта

Результаты оценки эффективности приведены в табл. 1. В расчётах использованы участковые себестоимости добычи 1 т и проведения 1 м выработки, приблизительно рассчитанные по четырём элементам затрат (заработная плата, электроэнергия, материалы, амортизация оборудования).

Таблица 1. Оценка эффективности вариантов *Б* и *А*

Показатель		Единицы измерения	Вариант <i>Б</i>	Вариант <i>А</i>	Δ (<i>А</i> – <i>Б</i>)
Проведение штреков	количество	–	6	7	1
	общая длина	м	9000	10500	1500
	себестоимость 1 м	руб.	0,03	0,03	0
	общая стоимость	млн руб.	270	315	45
Перемонтаж очистного комплекса	количество	–	4	5	1
	продолжительность одного	сут	13,6	12,6	–1
	общая продолжительность	сут	54,4	63,0	8,6
	стоимость 1 сут перемонтажа	млн руб.	0,26	0,25	–0,01
	общая стоимость перемонтажей	млн руб.	14,1	15,8	1,7
Продолжительность отработки панели		мес.	51,2	46,1	–5,1
Себестоимость добычи угля	1 т	руб.	277,24	252,90	–24,34
	в годовом выражении	млн руб.	431,3	431,0	–0,3
	за отработку панели	млн руб.	1840,2	1655,8	–184,4
Общая себестоимость по оценив. показателям		млн руб.	2124,3	1986,6	–137,7

Анализ результатов оценки показывает, что эффективность альтернативного варианта выше за счет меньшей себестоимости добычи. При снижении длины лавы на 18 % и увеличении суточной добычи забоя на 9,5 % происходит снижение себестоимости добычи 1 т угля на 9,6 %. Это достигается из-за большей добычи, осуществляемой с меньшими затратами, в первую очередь по амортизационным отчислениям.

Проведённое исследование показывает, что изменение технологических параметров в рамках нормативной методики расчёта максимально допустимой нагрузки на очистной забой по газовому фактору [1] может значительно повысить эффективность горных работ. Установленный эффект от достижения некоторого значения суточной добычи меньшим по длине очистным комплексом при большей скорости его подвигания проецируется и на планирование горных работ при отсутствии ограничения добычи по газовому фактору.

Список литературы:

1. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт / колл. авт. – Макеевка-Донбасс, 1989. – 320 с. – Текст : непосредственный.
2. Инструкция по применению схем проветривания выемочных участков шахт с изолированным отводом метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок (утв. приказом № 680 Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 01.12.2011). – Текст : непосредственный.

Научный руководитель: к.т.н., доцент К.А. Филимонов

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ПОЖАРОТУШЕНИЯ РЕЗЕРВУАРНОГО ПАРКА

TROSHINA O.S.
Samara State Technical University

ASSESSMENT OF THE FIRE-FIGHTING POTENTIAL OF THE TANK FARM

С бурным развитием химической промышленности возрастает спрос на продукцию нефтехимии. За последнее десятилетие значительно увеличились масштабы резервуарных парков. Вместе с тем последствия пожара или взрыва резервуара для сырой нефти всегда весьма серьезны, а именно велика опасность для жизни людей и их здоровья, урон экологии, а также финансовые затраты на восстановление. Аварийная система пожаротушения нефтебазы играет жизненно важную роль в борьбе с пожаром и взрывом, которые увеличат масштаб аварии, если система выйдет из-под контроля.

Актуальность

Самыми разрушительными считают пожары, связанные с добычей, транспортировкой или хранением углеводородных соединений. Согласно анализу пожаров на крупных и средних нефтебазах в мире, причинами возгорания резервуаров для сырой нефти являются неправильная эксплуатация, отказ оборудования, отказ молниезащиты, ненадлежащее техническое обслуживание, протечка резервуаров, протечка трубопровода и др. Поэтому создание системы оценки потенциала пожаротушения резервуарного парка предоставит инструмент для снижения потерь в аварийных ситуациях, так как резервуары с нефтью входят в список самых частых пожаров.

Методы исследования

Для создания модели оценки потенциала пожаротушения резервуарного парка будем использовать многоуровневый метод нечеткой оценки. Нечеткая комплексная оценка может дать количественную оценку субъективным суждениям людей, и она широко используется при оценке управления возможностями в чрезвычайных ситуациях. Процесс построения модели можно разделить на следующие этапы: 1) Сформировать набор факторов, который имеет иерархическую структуру, и на первом уровне состоит из четырех индикаторов, представленных на рис.1. Полный список индикаторов 2 и 3 уровней находится в стадии разработки. 2) Построить математическую модель расчета весов каждого индекса на разных уровнях. 3) Для экспертов или технического персонала разработать анкету в соответствии с моделью, позволяющую получить сведения по качественной оценке индикаторов уровня. 4) Построить матрицу суждений и нечеткую оценочную модель.

Основная часть

Модель оценки потенциала пожаротушения резервуарного парка включает три этапа: выбор индекса системы, определение веса индекса и выбор метода оценки. Ключом к построению модели является выбор и классификация показателей, которые касаются полноты и достоверности предупреждающих и аварийно-спасательных работ резервуарного парка. Целью анализа уровня защиты является определение наличия

достаточных мер защитного уровня для предотвращения развития аварии, что в дальнейшем может использоваться для поэтапного анализа причины аварии.

Разрабатываемая система оценивания базируется на трех уровнях. Первый уровень состоит из следующих индикаторов:

- 1) Безопасная конструкция резервуарного парка
- 2) Система контроля безопасности и сигнализации
- 3) Управление чрезвычайными ситуациями и реагирование
- 4) Восстановление после аварии

Разрабатываемая система индикаторов предполагается обширной и должна включить практически все возможные причины и риски возникновения пожароопасных ситуаций. Например, примерная схема для индикатора второго уровня «Безопасная конструкция резервуарного парка» приведена на рисунке 1. На третьем уровне индикаторы более подробно раскрывают смысл индикаторов второго уровня, например, для конструкции резервуаров это «Антикоррозионные меры» «Молниезащита и защита от статического электричества» «Защита от переполнения» и т.д.

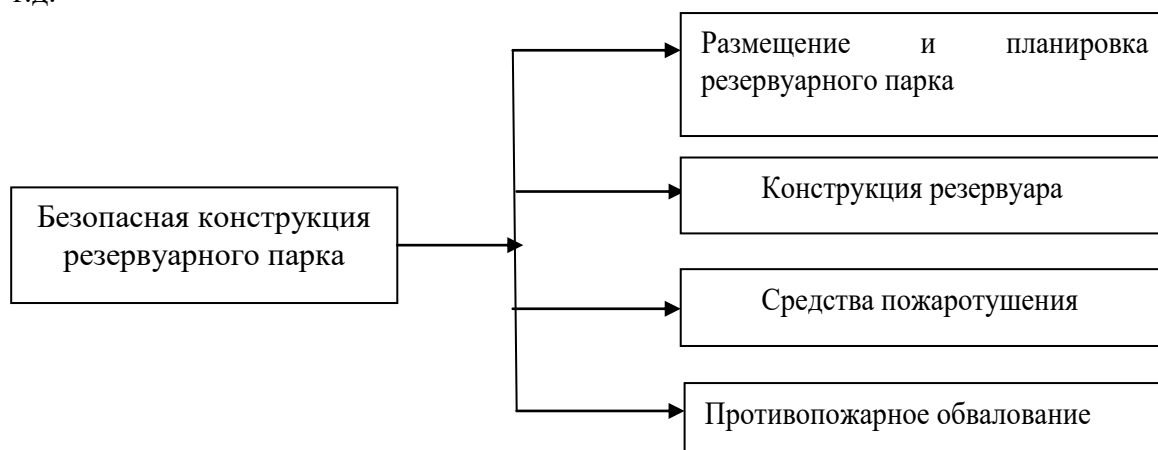


Рисунок 1. Индикаторы второго уровня первичного индикатора «Безопасная конструкция резервуарного парка»

Выводы

Разрабатываемая модель может применяться для оценки проектного состояния системы пожаротушения и распределения аварийных ресурсов. Ее внедрение позволит получить предложения по снижению риска эксплуатации резервуарного парка.

Список литературы:

1. «Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности», утверждена приказом МЧС России от 30.06.2009 № 382
2. Губко М.В. Лекции по принятию решений в условиях нечеткой информации. // Управление и Оптимизация Производственного Предприятия: сайт. – URL: <http://productm.ru/upload/books/books13/01.pdf> (дата обращения: 22.03.2022).
3. Рекомендации по обеспечению пожарной безопасности объектов нефтепродуктообеспечения. - М., 2007.

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент М.В. Петровская

УГВУ ЧИНЕДУ
Казанский национальный исследовательский технологический университет

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ШАХТА - ЛУЧШИЙ СПОСОБ УСПЕШНО
РАЗВЕДАТЬ ЗАПАСЫ УГЛЯ ШАХТЫ "ЛИСТВЯЖНАЯ"**

UGWU CHINEDU
Kazan National Research Technological University

**INTELLIGENT MINE-THE BEST WAY TO SUCCESSFULLY EXPLORE THE
COAL RESERVES OF THE LISTVYAZHNAYA MINE**

Due to the great economic importance of the Listvyazhnaya mine which is one of the largest coal mines in Russia and in the world, it is important to employ highly advanced exploration strategies that will help increase productivity, reduce cost of mining operations, ensure safety of miners and mitigate environmental pollution. This paper provides brilliant and credible ways of automating mining operations at the Listvyazhnaya mine.

Without doubt, the mining industry is indispensable in the world economy. Advanced nations like Russia, China, the United States of America and Germany, benefit from the proceeds of the Mining industry in order to maintain economic independence and stability. In Russia, the mining industry generates revenue that accounts for up to nineteen percent of the national Gross Domestic Product (GDP) yearly, and the Listvyazhnaya coal mine which has reserves amounting to five hundred and twenty million tons of coking coal is phenomenal in the Russian mining industry. Certainly, any improvement on the operations and productivity of the Listvyazhnaya coal mine will have substantial positive effect on the Russian economy.

To achieve safe coal mining operations, increased productivity and automation in the mining industry, scientists have worked relentlessly to implement technologically advanced innovations that will help maximize the exploration of minerals around the world and consequentially, strengthen the economy of nations especially the Russian economy because of the enormous deposit of unexplored natural resources in Russia that has been estimated to worth seventy-five trillion dollars.

Thorough analysis and consultations were made on global mineral resources databases like: world minerals statistics archive, Miningworld Russia, GEOSCAN, etc., for data retrieval and processing.

Introducing advanced technological and information systems is the first bold step towards effectively maximizing exploration processes in the mining industry. Essentially, intelligent mine entails the use of high technological equipment in mining operations in order to increase efficiency.

Giving attention to the traditional mining techniques and operations, we can agree to the frequent occurrence of disasters like cave-ins, inhaling of toxic gases by miners, and explosions of mines because of excess concentration of explosive gases like methane and carbon monoxide. Globally, a great number of mining engineers lose their lives due to cave-in yearly. In Chile for example, on 5th of August, 2010, 33 miners were trapped underground for

69 days due to cave-in before a successful rescue mission to bring them out was completed. After extensive research, it was concluded that the usual dangers in mines such as gas explosions could be predicted and appropriately fixed through the help of intelligent facilities before any grievous damage could emerge.

Intelligent mine Systems could be generally grouped into few categories which are well explained in this paper.

Communication and information Technology systems: Knowing that most coal mining operations are done underground just like at the Listvyazhnaya mine, having access to stable communication system among the mining engineers has been a big challenge in the traditional mining operations. However, the use of intelligent communication systems like underground optical fiber network, wireless AP network and fixed wireless base stations will provide the opportunity for mining engineers to achieve a reliable communication system irrespective of distance and underground location.

In addition, seismometers will help to evaluate seismic wave, movement of earth crust, vibrations and make predictions for a possible cave-in. In situations of increased vibration that could lead to a disaster, the seismometers will alert miners of the imminent danger, therefore, enabling them to evacuate the mining zone before the occurrence of a cave-in or earthquake that could result to massive loss of life.

Computerized rock-drilling facilities: Mining is majorly an underground based process that is inevitably accompanied by rock drilling. Rock drilling, till date, remains the most attention-demanding aspect of mining operation as different rocks require different mining techniques and as a result, gives a big concern to miners. However, smart innovations such as the Down-The-Hole drilling machine, intelligent mining trucks and drill jumbos will make rock drilling easier, faster and more effective.

Unlike the traditional mining operations where miners are directly involved in every stage of the operation trying to break down rocks with ill-mechanized equipment, rock drilling could be achieved from the earth surface with the assistance of remote-controlled rock drilling machines without having miners go through the risk of working underground. As a result of this advancement, there'll be a considerable reduction in the number of cave-in victims round the world.

Just like the intelligent rock drill jumbo, the computerized mining truck which works with well-developed location and navigation control system and sensors, could be used to transport coals underground at the Listvyazhnaya mine according to the directions of the machine engineer who would control the activities of the truck from his office. Ten years ago, innovations like this seemed impossible, but these are the present-day realities of intelligent mine and they will make mining operation at the Listvyazhnaya coal mine simple, productive and less energy demanding.

The high-tech mining organization and administrative system: It is well acknowledged that excellent administration is the fundamental factor that brings progress in any organization. A well-coordinated mining operation that is wholly computerized and devoid of human careless and unintentional mistakes could be applied. A flawless computer algorithm which analyzes the most ideal the time of the year most suitable for a mining activity to avoid

interfering natural and environmental factors like very high underground temperature, excessive rainfall etc., can also be applied to ensure ease and safety.

Going further, mine visualization and inspection could be done from the earth surface. For instance, in a situation of accidental trapping of a miner underground, his precise location and status could be accurately determined for a quick rescue mission to be carried out. Accurate analysis of explosive gas concentration in mines could also be done digitally.

The aforementioned advanced technological facilities have vast areas of application which are not limited to the Listvyazhnaya mine only. The down-the-Hole drilling tool for example, is essential in any mine where extractions are made from deep underground. A synchronized working of the remote-controlled underground trucks and loaders with the aid of a digital control system makes most mining operations unmanned, therefore, reducing possibilities of human mistakes that could be detrimental to mining operations. This advanced technological approach to coal mining at the Listvyazhnaya mine is also applicable in gold and diamond mines.

In conclusion, I can confidently say that intelligent mine is the future of the Listvyazhnaya mine as it is the surest way to successfully explore the mine's enormous coal reserve. With the implementation of the above-mentioned technological systems, the usually impossible mining experiences like underground communication, automated underground coal transfer with the assistance of remote-controlled trucks etc., will be made possible through intelligent mine. Furthermore, with a complete automation of the mine, there will never again be a record of the disastrous incidence that took place at the mine on 25th November 2021, where 52 miners died as a result of mine explosion. Intelligent mine is indeed, the only way to safely explore the great coal reserves of the Listvyazhnaya mine with more efficiency, productivity and cheaper cost of production.

List of references:

1. The Digital Revolution: Mining starts to reinvent the future, Deloitte, 2017.
2. Tuunanen, A., Automation of hard rock drilling machines, Mine Mechanization and Automation, Almgren, Humar & Vagenas (eds), 1993 Balkema, Rotterdam, ISB 9054103140
3. Intelligent Mining Technology for an underground Metal Mine Based on Unmanned Equipment, Jian-guo Li, Kai Zhan.
4. S. Walker, Underground mining Technology: Safe working conditions and higher productivity. Eng Min J, 6-8 (2012), pp.41-51.
5. Seppanen, 1993, P.Seppanen, J. Pukkila, Intelligent mine Technology program, Mine Mechanization and Automation. Kumar Almgren, Vagenas (Eds.), Rotterdam, Balkema (1993)

Supervisor of study: associate professor S.M. Petrov

ФАЗИЛИ АХМЕД Х.
Мапонский университет
БУКАСА ПИТЧУ М.
Университет Намибии

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УРОВНЯ ДОБЫЧИ ДЛЯ ГРУППЫ ШАХТ
(ПОДХОД С НЕСКОЛЬКИМИ ШАХТАМИ) : ПРИМЕР КОМПАНИИ КАМОТО
COPPER**

FAZILI AHMED H.
University Mapon
BUKASA PITCHOU M.
University of Namibia

**DETERMINATION OF THE OPTIMAL PRODUCTION RATE FOR A GROUP OF
MINES (MULTI-MINE APPROACH) : CASE OF KAMOTO COPPER COMPANY**

As governments and private actors around the world seek to reduce greenhouse gas emissions from transportation (which exceed 15% of global emissions and more than 40% of California's emissions), a shift to electric vehicles (EVs) as a solution for automotive industry [1]. This has put a demand on some of minerals, such as lithium, cobalt, nickel, graphite, copper, manganese and others. As a results, mining companies producing battery metals are currently seeking to increase their production rate in order to meet this demand of the automotive industry. It is in this regards that Kamoto copper company (KCC), one of the world's largest producers of copper and cobalt on a large scale with high-grade mineral reserves, has also considered to optimize the productivity of their mines.

Development of its battery metal bearing deposits using group of mines (multi-mine) constitutes one of the strategy of KCC. The multi-mine approach involves the joint and simultaneous operation of different mines as a single entity. [2]. The optimization of the production rate can be achieved by solving by solving a number of problems, including determination of the mine pit limits (economic pit depth) for the open pits, determination of the production capacity (maximum production capacity) of each mine in the group, determination of the productivity of the equipment used, a financial evaluation of each project (mine), determination of the production rate of the multi-mine; determination of the operating schedule and a financial evaluation of the multi-mine (group of mines). The maximum NPV criterion is recommended during this stage [2].

Knowing the unit transport price as a function of distances (mines and processing unit), knowing the maximum capacity of the processing unit, knowing the maximum production capacity of each mine, linear programming (transport problem) was used to make an optimal distribution of the productions of each mine, a distribution that minimizes the transport cost.

This work shows that the production of the mines owned by the company can increase from 1,412,903 tonnes to 2,124,070 tonnes per year for the KOV mine, from 824,194 tonnes to 1,924,070 tonnes per year for the MASHAMBA mine and from 523,410 tonnes to 1,032,661 tonnes per year for the KAMOTO mine. This would explain the increase in KCC's percentage share of world copper and cobalt production.

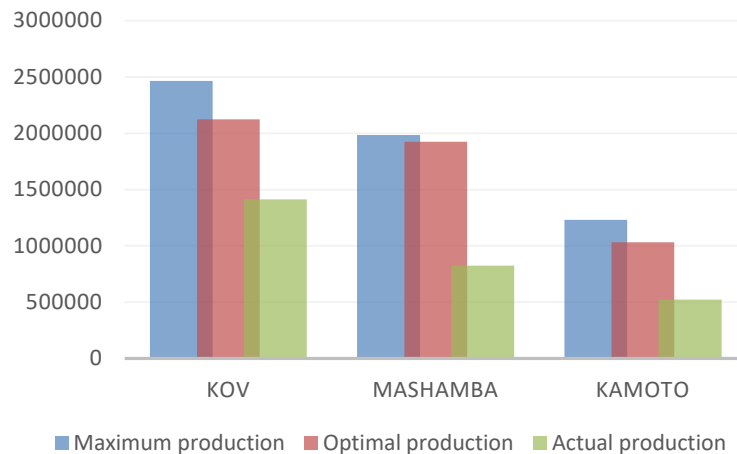


Figure 1: Maximum, actual and optimum production for each mine

List of references:

1. Californian Council on Science and Technology (CCST), An independent Scientific Assessment of well stimulation in california, vol 2(July 2015), <https://ccst.us/wpcontent/uploads/160708-sb4-vol-II.pdf>
2. P. Bukasa Mukendi, "Base de rentabilité et séquence de développement des pipes kimberlitiques diamantifères dans un groupe de mines à ciel ouvert", PhD thesis 2009.

Supervisor of studies: Ph.D. Mining Engineering, Senior Lecturer Pitchou M. Bukasa

ФАЗЫЛОВ И.Р.

Санкт-Петербургский горный университет

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ГОРНЫХ
ВЫРАБОТОК УКЛОННЫХ БЛОКОВ НЕФТЯНЫХ ШАХТ ПРИ
ТЕРМОШАХТНОМ СПОСОБЕ ДОБЫЧИ НЕФТИ**

FAZYLOV I.R.

Saint Petersburg Mining University

**RESULTS OF THE STUDY OF THERMAL MODE OF MINE WORKINGS OF
SLOPED BLOCKS OF OIL MINES WITH THERMAL OIL PRODUCTION
METHOD**

В работе представлены результаты натурных исследований теплового и режима горных выработок уклонных блоков нефтяных шахт при термошахтном способе добычи нефти.

Актуальность исследования: подтверждается повышенными значениями температуры воздуха в горных выработках уклонных блоков нефтяных шахт на разных этапах разработки уклонного блока. Ввиду особенности технологического процесса прогрева нефтяного пласта, добычи и транспортировки нефти, для нормализации теплового режима горных выработок необходимо применять комплекс мероприятий по

его регулированию в зависимости от стадии разработки блока. В работе проведена классификация факторов, определяющих тепловой режим горных выработок и установлена их зависимость от горнотехнических и технологических параметров разработки уклонных блоков [1-3].

Методы исследования: процесс проведения исследований состоит из нескольких этапов:

1) Изучение по данным литературных источников закономерностей формирования теплового режима горных выработок, методик проведения измерений исследуемых параметров: температура воздуха, относительная влажность воздуха, скорость воздушного потока, температура поверхности транспортируемой жидкости, стенок горных выработок, нефтяного пласта и металлических элементов крепи и забойной арматуры скважин [4,5].

2) Подготовка и тарировка приборов для осуществления натурных исследований.

- температура воздуха (МБГО-2);
- температура поверхности стенок горных выработок, трубопроводов, забойной арматуры скважин (пирометр Fluke 561);
- температура транспортируемой жидкости (термометр стеклянный лабораторный ТЛ-2 №2);
- влажность воздуха (ТГО-2);
- скорость воздуха (АПР-2);

3) Определение мест проведения измерений.

Измерения проводились в 12 уклонных блоках, имеющих продолжительность разработки от 1 года до 16 лет. Результаты измерений максимальных значений температуры воздуха в блоке, средней температуры транспортируемой нефтесодержащей жидкости, максимального значения влажности воздуха, значения температуры паропровода и стенок для каждого исследуемого блока представлены на Рисунке 1.

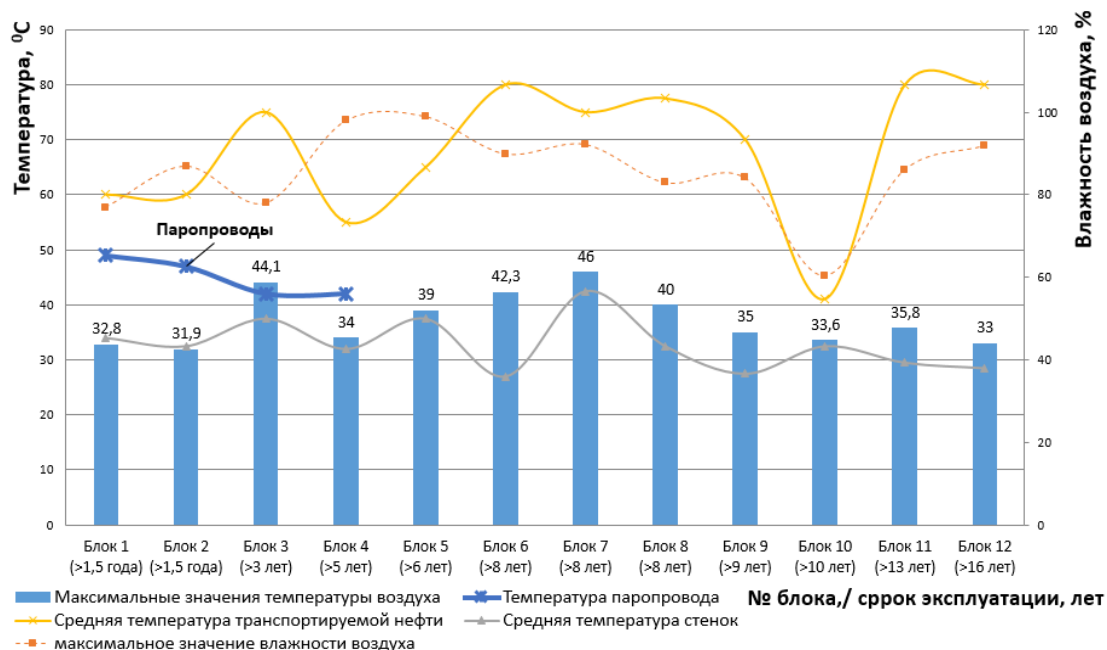


Рисунок 1. Результаты натурных исследований уклонных блоков

Исходя из результатов измерений, технологических и горнотехнических параметров разработки блока, получена зависимость величины удельного тепловыделения от источников теплоты и величины удельного приращения влагосодержания в зависимости от времени (стадии) отработки блока. Выявлена закономерность увеличения удельного приращения энтальпии воздуха по мере продолжительности разработки блока, это объясняется истощением нефтесодержащего коллектора, что приводит к учащению прорывов пара в горных выработки и продвижением теплового фронта от нагнетательных скважин к горным выработкам уклонного блока. Определено, что по мере отработки добычного блока, происходит увеличение доли скрытых теплоступлений, что объясняется учащением прорывов пара в горных выработки. (см. Рисунок 2.) [6,7].

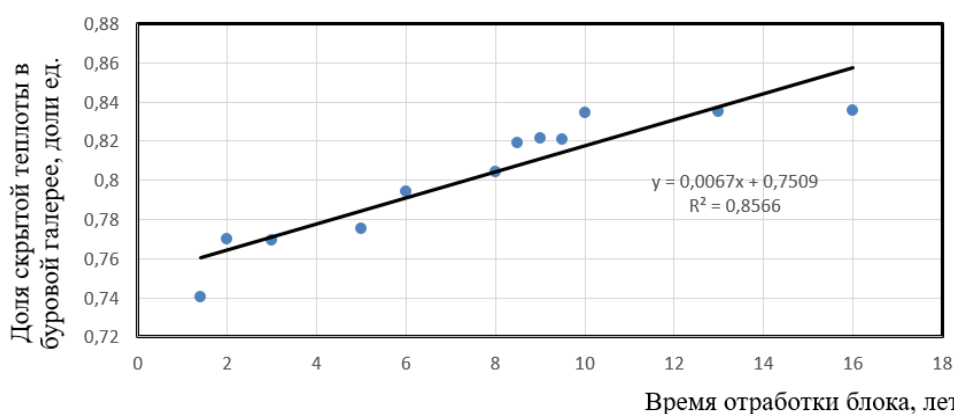


Рисунок 2. Значимость скрытых тепловыделений по мере отработки уклонного блока

Выводы:

1. Представлены результаты натурных исследований теплового режима горных выработок уклонных блоков.
2. Зафиксированы максимальные значения температуры воздуха 40-45 °С в блоках, находящихся на второй стадии отработки. (2-8 лет эксплуатации).
3. По мере отработки уклонного блока доля явных тепловыделений снижается, учащаются прорывы пара.

Список литературы:

1. Коноплев Ю. П., Алабушин А. А., Гуляев В. Э. Опыт и перспективы развития термошахтной разработки Ярегского месторождения высоковязкой нефти / Высоковязкие нефти и природные битумы: проблемы и повышение эффективности разведки и разработки месторождений: Материалы международной научно-практической конференции. — Казань. — 2012. — С. 74-77.
2. Левин Л. Ю., Кормщиков Д. С. Особенности добычи высоковязкой нефти на примере Ярегского месторождения // Научные исследования и инновации. — 2010. — Т.4., № 2. — С. 33-36.
3. Гендлер С. Г., Фазылов И. Р. Оценка эффективности использования закрытой системы сбора нефти для нормализации микроклимата в эксплуатационных галереях нефтяных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 9. — С. 65–78. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_9_0_65.

4. Гуляев, В.Э. Анализ технологических показателей систем термошахтной разработки Ярегского нефтяного месторождения / В.Э. Гуляев, Ю.П. Коноплев, И.В. Герасимов // Проблемы разработки и эксплуатации месторождений высоковязких нефтей и битумов: материалы межрегиональной научно-технической конференции. – Ухта: УГТУ, 2011. - С. 1218
5. Дуркин С. М. Новые термошахтные технологии и оценка их эффективности путём численного моделирования / С.М. Дуркин, О.А. Морозюк, Л.М. Рузин // Нефть. Газ. Новации. – 2013. – № 4. – С. 45-51.
6. Левин Л.Ю. Особенности добычи высоковязкой нефти на примере Ярегского месторождения / Левин Л.Ю., Кормщиков Д.С. // Научные исследования и инновации. – 2010. – Т.4., № 2. – С. 33-36.
7. Ключин, Ю. А., Семин М. А., Левин Л. Ю. Исследование влияния способа транспортировки нефтесодержащей жидкости на микроклиматические условия в нефтяной шахте / Материалы X Всероссийской научнотехнической конференции "Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых". – Пермь, 2017. – С. 371-373.

Научный руководитель: д.т.н., профессор С.Г. Гендлер

ХАЛИУЛЛИНА Э.И.

Уфимский государственный авиационный технический университет

**ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА ЛИТИЕВЫХ
АККУМУЛЯТОРАХ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МИНЕРАЛЬНО-
СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА**

KNALIULLINA E.I.

Ufa State Aviation Technical University

**HAZARD ASSESSMENT OF TECHNICAL DEVICES ON LITHIUM BATTERIES
USED AT MINERAL RESOURCE COMPLEX ENTERPRISES**

В работе предлагается метод оценки опасности литиевых аккумуляторов при их непредсказуемом использовании, а именно метод механического прокола и лабораторная установка для его реализации. Технические средства на литиевых аккумуляторах широко используется не только в нормальных условиях, но и в экстремальных (непредсказуемых). Однако существующие нормативные требования не регламентируют оценку их безопасности в подобных условиях использования, что создает потенциальную опасность для потребителя. В связи с этим, проведение работ по оценке опасности технических средств на литиевых аккумуляторах при их непредсказуемом использовании является актуальным. Основная цель работы создание и апробация лабораторной установки для оценки опасности литиевых аккумуляторов методом механического прокола.

Процесс разработки карьеров и добычи полезных ископаемых связан с тяжелыми условиями труда, и немаловажно, чтобы используемая техника могла выдерживать экстремальные температуры, шум, пыль, влажность и токсическое

воздействии. Сотрудники минерального сырьевого комплекса, работая в этих сложных условиях, для обеспечения бесперебойной связи обычно применяют средства радиосвязи на литиевых аккумуляторах. Соответственно безопасное и надежное функционирование данных технических средств обеспечит безопасность сотрудников минерально-сырьевого комплекса.

К литиевым аккумуляторам относится целый класс аккумуляторов, которые существенно различаются по своим характеристикам. Аккумуляторы на основе лития конструируют и изготавливают таким образом, чтобы они были безопасными при различных условиях использования. Возможен и такой случай, что объект не может нормально функционировать, но даже при этом он не должен представлять никакой потенциальной опасности [1].

На основании государственных стандартов и технических регламентов любой предмет или объект обязан пройти испытания на безопасность. Согласно ГОСТ Р МЭК 62133-2-2019 безопасность аккумуляторов на основе лития рассматривается с точки зрения: 1) использования по назначению, т.е. использования в соответствии с инструкциями и спецификациями; 2) предсказуемого неправильного использования, т.е. использования в условиях, не предусмотренных инструкцией, но которые могут быть легко предсказуемыми.

В этих случаях использования проводят следующие виды испытания: использование малого тока при его продолжительном заряде; воздействие высокой температуры на корпус; внешнее короткое замыкание; свободное падение; термоудар; перезаряд; механические испытания и др.

В условиях горной промышленности возможен такой случай воздействия на средство радиосвязи и соответственно литиевый аккумулятор, как механический прокол острыми предметами (например, лопатой, киркой, кайлом и др.). Поэтому в работе предлагается ввести еще один вид использования – непредсказуемое использование. Для данного вида использования предлагается дополнительный вид испытания – механический прокол аккумулятора.

В связи с введением нового вида использования и метода испытания для оценки безопасности аккумуляторов на основе лития создана лабораторная установка по механическому проколу (автором получен патент [2]). При проведении исследований будут фиксироваться те же виды потенциальных опасностей, что и для использования по назначению и предсказуемого неправильного использования, т.е. воспламенение, взрыв, течь электролита из аккумулятора, сброс давления и разрыв корпуса аккумулятора с выходом внутренних компонентов.

Для апробации работы лабораторной установки проанализировано 6 литиевых аккумуляторов различных марок, часть исследуемых образцов являлись вздутыми. Как правило, энергия в литиевых аккумуляторах производится за счет ряда химических реакций, т.е. ионы лития перетекают от катода к аноду при зарядке, а возвращаются обратно во время разрядки. Если химическая реакция нарушается, то происходит образование газов между пластинами катода и анода. И как следствие, ввиду герметичности аккумулятора, произойдет его вздутие [3].

На первом этапе эксперименты проводились над разряженными аккумуляторами, в связи с тем, что они являются более безопасными, чем рабочие, которые могут сопровождаться возгоранием или взрывом. В ходе проведения экспериментов установлено, что даже на разряженных аккумуляторах выявлены потенциальные опасности, а именно течь электролита из объекта и разрыв корпуса

аккумулятора с выходом внутренних компонентов. Возникшие потенциальные опасности представляют угрозу работникам горных промышленностей.

Таким образом, проведен анализ нормативной документации и патентная проработка по оценке безопасности технических средств на литиевых аккумуляторах. Создана и апробирована лабораторная установка для оценки опасности литиевых аккумуляторов методом механического прокола. Все экспериментальные работы проведены лично автором.

Список литературы:

1. Халиуллина Э.И., Насырова Э.С., Фазылова А.В. Анализ работ по исследованию безопасности литиевых аккумуляторов // Актуальные проблемы и тенденции развития техносферной безопасности в нефтегазовой отрасли: материалы III Международной научно-практической конференции / отв. ред. Ф.Ш. Хафизов. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2020 – 371 с. С. 178-181.
2. Патент РФ № 207346. Установка для механического прокола литиевых аккумуляторов. Елизарьев А.Н., Насырова Э.С., Насыров А.Н., Халиуллина Э.И., Тараканов Д.А. № 2021118032; заявл. 22.06.2021, опубл. 25.10.2021. Бюл. № 30.
3. Халиуллина Э.И., Насырова Э.С. Проблема вздутия литиевых аккумуляторов // Наука, образование, производство в решении экологических проблем (Экология–2021): материалы XVII Международной научно-технической конференции: в 2 томах [Электронный ресурс] / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: УГАТУ, 2021. Том 2.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Э.С. Насырова

ХАО МИНЬ

Китайский университет горного дела и технологий

КИНЕТИКА СОРБЦИИ И ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ УГЛЯ И ГАЗА

HAO MIN

China University of Mining and Technology

KINETICS OF SORPTION AND STRAIN DURING COAL-GAS INTERACTION

The fundamental understanding of coal-gas interaction is important for improving coalbed methane extraction efficiency. However, the sorption and strain kinetics of gas adsorption-desorption on coal still need to be further explored due to the unclear mechanism. In this paper, a series of isotherm sorption experiments monitoring sorption and strain versus time are performed. The results show that sorption and strain kinetics exhibit three-stage evolution behavior controlled by coal pore structure and interfacial sorption sites. Different gases, pressures and sorption processes have significant effects on kinetic behavior. Moreover, the apparent strain controlled by sorption deformation and gas loading compression is anisotropic and asynchronous. The sorption strain is the main controlling factor, followed by gas loading compression. The relationship between sorption and strain is

approximately linear, but it is also affected by gas, pressure and sorption process. This fundamental exploration of coal-gas interaction has implications for efficient coalbed methane extraction.

List of references:

1. Kang, J. H.; Zhu, J. P.; Wang, Y. P.; Zhou, F. B.; Liu, Y. K. Dynamical modeling of coupled heat and mass transfer process of coalbed methane desorption in porous coal matrix, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 2022. 183.
2. Long, H.; Lin, H. F.; Yan, M.; Bai, Y.; Tong, X.; Kong, X. G.; Li, S. G. Adsorption and diffusion characteristics of CH₄, CO₂, and N₂ in micropores and mesopores of bituminous coal: Molecular dynamics, *Fuel* 2021. 292.
3. Yan, F. Z.; Xu, J.; Peng, S. J.; Zou, Q. L.; Zhou, B.; Long, K.; Zhao, Z. G. Breakdown process and fragmentation characteristics of anthracite subjected to high-voltage electrical pulses treatment, *Fuel* 2020. 275.
4. Hao, M.; Wei, C. M.; Zhang, H. Adsorption and Diffusion of Methane in Coal Slit Pores: Insights into the Molecular Level, *Energy & Fuels* 2022. 36(2), 880-886.
5. Tang, Z. Q.; Yang, S. Q.; Zhai, C.; Xu, Q. Coal pores and fracture development during CBM drainage: Their promoting effects on the propensity for coal and gas outbursts, *Journal of Natural Gas Science and Engineering* 2018. 51(9-17).
6. Yang, E. H.; Lin, H. F.; Li, S. G.; Zhao, P. X.; Qin, L.; Wang, R. Z.; Han, S. Z. Characteristic Strength and Energy Evolution Law of Coal Treated by Ultrasonic Wave with Different Power Under Uniaxial Compression, *Natural Resources Research* 2022. 31(2), 913-928.
7. Zhai, C.; Qin, L.; Liu, S. M.; Xu, J. Z.; Tang, Z. Q.; Wu, S. L. Pore Structure in Coal: Pore Evolution after Cryogenic Freezing with Cyclic Liquid Nitrogen Injection and Its Implication on Coalbed Methane Extraction, *Energy & Fuels* 2016. 30(7), 6009-6020.
8. Liu, S. Q.; Fang, H. H.; Sang, S. X.; Ashutosh, T.; Wu, J. G.; Zhang, S. R.; Zhang, B. CO₂ injectability and CH₄ recovery of the engineering test in qinshui Basin, China based on numerical simulation, *International Journal of Greenhouse Gas Control* 2020. 95.
9. Wang, Z. Z.; Fu, X. H.; Hao, M.; Li, G. F.; Pan, J. N.; Niu, Q. H.; Zhou, H. Experimental insights into the adsorption-desorption of CH₄/N₂ and induced strain for medium-rank coals, *Journal of Petroleum Science and Engineering* 2021. 204.
10. Yang, X.; Wang, G. D.; Du, F.; Jin, L. Z.; Gong, H. R. N₂ injection to enhance coal seam gas drainage (N₂-ECGD): Insights from underground field trial investigation, *Energy* 2022. 239.

Supervisor of studies: Ph.D. of Engineering, Professor Chengwu Li

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ НА УДАРНУЮ ВОЛНУ И ЗАКОНА
ОСЛАБЛЕНИЯ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННЫХ
ДВЕРЕЙ**

CUI BANG
Henan Polytechnic University

**STUDY ON SHOCK WAVE RESPONSE AND OVERPRESSURE ATTENUATION
LAW OF EXPLOSION-PROOF DOORS**

The paper discussed the influence of setting explosion-proof door in mine on explosion overpressure and the overpressure attenuation law at different positions.

Relevance of studies: As a safety device to prevent gas and coal dust explosions from destroying the main ventilation fan, the explosion-proof door opens in time to release the blast wave in the event of an explosion, which reduces the overpressure level and prevents the accumulation of gas in the underground chamber and main return airway, Therefore, explosion-proof door is particularly important for industrial engineering, especially coal mine industrial safety.

Research objectives and methods: Through this research, mainly by means of experiments research, we can understand the pressure relief effect of the setting of explosion-proof door on mine gas explosion and the impact of explosion-proof door failure on the mine, and further explore the overpressure attenuation law of explosion-proof door pressure relief on various positions of the mine.

Main part: The paper mainly includes the following parts. 1: Analysis of pressure relief effect. 2: Analysis of overpressure change. 3: Analysis of overpressure decay.

Results and areas of their use: In this paper, we found some interesting results, such as “the peak overpressure decline rate at the position of the explosion-proof door is always greater than that at the main ventilation fan tunnel, the location where the time interval between two overpressure peaks is most susceptible to methane concentration is the main ventilation fan tunnel, etc.”. These research results can be used to strengthen the process safety of coal mine industry, and have theoretical guiding significance for coal mine disaster prevention and reduction technology and design.

Conclusions: (1) The overpressure attenuation degree at the main ventilation fan tunnel and the explosion-proof door is obviously different. (2) The peak overpressure decline rate at the explosion-proof door position is always greater than that at the main ventilation fan tunnel.

List of references:

1. Choi, Y., Lee, J., Yoo, Y., Kyung-Jae, Y., 2016. A Study on the behavior of blast proof door under blast load. *Int. J. Precis. Eng. Man.* 17(1), 119–124.
2. Gao, K., Liu, Z., Wu, C., Li, J., Liu, K., Liu, Y., Li, S., 2021. Effect of low gas concentration in underground return tunnels on characteristics of gas explosions. *Process Saf. Environ. Protect.* 152,679-691.

3. Houf, W., Evans, G., Schefer, R., Merilo, E., Groethe, M., 2011. A study of barrier walls for mitigation of unintended releases of hydrogen. *Int. J. Hydrogen Energy* 36(3), 2520-2529.
4. Ibrahim, S., Masri, A., 2001. The effects of obstructions on overpressure resulting from premixed flame deflagration. *J. Loss Prev. Process. Ind.* 14(3), 213-221.
5. Kasmani, R.M., Andrews, G.E., Phylaktou, H.N., 2013. Experimental study on vented gas explosion in a cylindrical vessel with a vent duct. *Process Saf. Environ. Protect.* 91(4), 245-252.
6. Lei, B., Zhao, C., He, B., Wu, B., 2021. A study on source identification of gas explosion in coal mines based on gas concentration. *Fuel* 290, 120053.
7. Li, J., Hao, H., 2019. Numerical and analytical prediction of pressure and impulse from vented gas explosion in large cylindrical tanks. *Process Saf. Environ. Protect.* 127, 226-244.
8. Li, Q., Zhou, S., Wang, Z., 2021. Quantitative risk assessment of explosion rescue by integrating CFD modeling with GRNN. *Process Saf. Environ. Protect.* 154, 291-305.
9. Li, R., Malalasekera, W., Ibrahim, S., Liu, B., 2018. On the mechanism of pressure rise in vented explosions: A numerical study. *Process Saf. Environ. Protect.* 117, 551-564.
10. Liang, X., Wang, Z., Wang, R., 2017. Deformation model and performance optimization research of composite blast resistant wall subjected to blast loading. *J. Loss Prev. Process. Ind.* 49, 326-341.
11. Liu, Q., Zhang, Y., Niu, F., Li, L., 2015. Study on the flame propagation and gas explosion in propane/air mixtures. *Fuel* 140, 677-684.
12. Lv, X., Zheng, L., Zheng, Y., Yu, M., Su, Y., 2016. Combined effects of obstacle position and equivalence ratio on overpressure of premixed hydrogen–air explosion. *Int. J. Hydrogen Energy* 41(39), 17740-17749.
13. M. Mittal, 2017. Explosion pressure measurement of methane-air mixtures in different sizes of confinement. *J. Loss Prev. Process. Ind.* 46, 200-208.
14. Rui, S., Li, Q., Guo, J., Sun, X., 2021. Experimental and numerical study on the effect of low vent burst pressure on vented methane-air deflagrations. *Process Saf. Environ. Protect.* 146, 35-42.
15. Wang, C., Zhao, Y., Emmanuel, K., 2017. Investigation on propagation mechanism of large scale mine gas explosions. *J. Loss Prev. Process. Ind.* 49, 342-347,
16. Wen, X., Wu, J., Xie, M., 2013. Coupled relationship between flame structure and pressure wave of gas explosion. *J. Chem. Ind. Eng. (China)* 64(10), 3871-3877.
17. Yu, M., Wan, S., Zheng, K., Guo, P., Chu, T., Wang, C., 2018. Effect of side venting areas on the methane/air explosion characteristics in a pipeline. *J. Loss Prev. Process. Ind.* 54, 123-130.

Supervisor of studies: PhD, associate professor Rongkun Pan

ЦЫГАНКОВА Д.Н.

Заполярный государственный университет имени Н.М. Федоровского

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ
ПОЛЕЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧЕ РУД**

TSYGANKOVA D.N.

N.M. Fedorovsky Polar State University

**SUBSTANTIATION OF THE TECHNOLOGY OF INCREASING THE
CONCENTRATION OF USEFUL COMPONENTS DURING UNDERGROUND ORE
MINING**

ПАО ГМК «Норильский никель» является одной из крупнейших горно-металлургических компаний, которая эксплуатирует в основном богатые по запасам ценных металлов месторождения. За несколько десятилетий разработки стали заметными тенденции эрозии качества минерально-сырьевой базы, и, очевидно, что в будущем они будут нарастать.

Актуальность улучшения технологии повышения концентрации полезных компонентов при подземной добыче руд обосновывается тем, что по мере отработки богатых по содержанию запасов и снижение качества сырья приводит к росту объемов добычи и влияет на себестоимость конечной товарной продукции. Также, в условиях норильского промышленного района основное количество металлов содержится в медистых и вкрапленных рудах, доля которых, при существующих технологиях добычи, снижается из-за потерь и разубоживания. Скорости отработки месторождений запасов богатых руд рудниками существенно опережают их восполнение. Установлено, что обеднение богатых запасов недр, при эксплуатации месторождений Норильска достигает до 10% в год. Помимо содержания полезных компонентов рудной массе, от стабильности вещественного и минералогического состава сырья напрямую зависят показатели обогащения и металлургический передел. Массовое горно-обогащительное производство обладает высокой инерционностью, вследствие чего при неожиданных изменениях производственных ситуаций оно имеет ограниченные возможности для оперативных изменений в своей технологии [1, с.33].

В данной работе отражены условия и методы решения проблемы, исследования которых выполнялись на базе рудника «Комсомольский», целью которой является процесс моделирования на основе установленных зависимостей внутрирудничной системы улучшения эффективности обогащения норильских руд при подземной добыче, обеспечивающей качественное функционирование горно-металлургического производства в условиях закономерного ухудшения минерально-сырьевого базиса. Перспективное решение проблемы обеспечения перерабатывающих производств минеральным сырьём требуемого содержания может быть осуществлено за счёт совершенствования управления вещественного состава руд при их отработке. Для этого необходима модернизация горнодобывающих предприятий, где основным способом повышения вещественного состава руд является технологический, который выполняется на стадии подготовки рудо-минерального сырья к обогащению и переработке.

Рассматриваемые методы можно условно разделить на классы: смесительные (усреднительно-стабилизационные), разделительные (сепарационные). При этом выделяются основные способы воздействий на процесс стабилизации: организационные и производственно-технологические, которые направлены в основном на усреднение руды, и технические и технологические действия, связанные с механическим смешиванием контрастных по качеству объёмов рудной массы. К примеру, планирование горных работ направлено на формирование заданного среднего уровня показателя качества рудной массы в объёмах добычи. «Действенным средством изучения результатов обогащения рудной массы внутри рудника является моделирование этого процесса, основанное на выявлении количественно-качественных взаимосвязей с использованием численных характеристик, теории вероятности и компьютерных технологий. Из рудной массы в количестве Q тонн, которую предполагается подвергнуть обогащению, взяты пробы. В результате химического анализа состава этих проб установлено распределение содержания металла по отдельным долям общего количества рудной массы, рассчитаны общая масса металла в руде и его выход в каждую долю. Поэтапные результаты расчета параметров повышения качества, выполняются согласно методике» [2]. Отделение от общей рудной массы медистых руд, определенного объема с относительно меньшими содержаниями полезного компонента, приводит к сокращению объема товарной руды на 21%, и повышению среднего качества полезного продукта относительно исходного на 8 и 19% при извлечении металла в концентрат 0,98 и 0,92 %. Так, среднее содержание полезного компонента в рудной массе увеличивается почти в 1,2 раза, т.е. с 2,19 до 2,61 % для условий рудника «Комсомольский». В результате обогащения минерального сырья внутри рудника, потери металла в отходах, по мере возрастания граничного содержания полезного компонента, изменяются обратно пропорционально росту содержания металла в концентрате и составляют 6% для вкрапленных руд, и порядка 8% для медистых [2]. Для создания технологии обогащения рудной массы внутри рудника необходимо наличие технических средств, способных достаточно оперативно и точно определять вещественный состав руд, которые должны быть адаптированы к условиям производства. В работе предлагается включить в технологическую схему рудничного обогащения минерального сырья рентгенометрический сепаратор, рассматривая разные объемы рудопотоков.

«При решении вопроса места размещения пункта повышения качества руды необходимо учитывать и другое важное обстоятельство, заключающееся в том, что отделяемая из исходной рудной массы горная порода с содержанием полезных компонентов меньше промышленного минимума при определенных условиях может быть утилизирована в выработанном пространстве рудника. Это к тому же позволяет снизить затраты на наиболее дорогостоящий процесс - закладку выработанного пространства. Следовательно, чем раньше в технологической схеме рудника будут отделяться пустые породы и некондиционная руда, тем проще и дешевле будет их утилизация, т.к. большая часть некондиционной рудной массы уже на самом раннем этапе может быть исключена из дальнейшего производственного процесса» [1, с.239]. Поэтому, эффективнее всего размещать пункт повышения рудного концентрата призабойно. «Это, в свою очередь, удешевит не только горные работы (закладку, рудничный транспорт и подъем, механическое дробление), но и сократит непроизводительные затраты в смежных производствах (транспорт от рудника к потребителям и складирование руды на поверхности)» [1, с.239].

Резюмируя все вышеизложенное, можно отметить, что создание рудничной системы, стабилизирующей концентрацию вещественного состава добытых медно-никелевых руд, основные положения которой разработаны в докладе, путём применения специальных горнотехнических средств, обеспечивающих выравнивание изменчивости качества продукции рудника, позволит в 1,2 раза поднять нынешние показатели качества состава рудной массы на выходе из рудника, увеличив тем самым содержание металла в добытых рудах, что существенно улучшит полезное использование минеральных ресурсов и показатели эффективности перерабатывающих производств.

Список литературы:

1. Кожиев Х.Х. Рудничные системы управления качеством минерального сырья [Текст] / Х.Х. Кожиев, Г.Г. Ломоносов. – М.: МГГУ, 2005.
2. Туртыгина Н. А., Охрименко А. В. Показатели численного моделирования технологии внутрирудничной предконцентрации рудной массы// Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 4. (специальный выпуск 15) С. 3–12.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Н.А. Туртыгина

ЧЕРНЫШЕНКО И.В.

Донецкий национальный технический университет

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРНЫХ РАБОТ НА
УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ**

CHERNYSHENKO I.V.

Donetsk National Technical University

SPATIO-TEMPORAL MODELING OF MINING OPERATIONS IN COAL MINE

Аннотация. Обоснована целесообразность использования пространственно-временных моделей развития горных работ на угольных шахтах в условиях изменчивости внешних условий функционирования шахт. Рассмотрены подходы к построению моделей и примеры их применения для обоснования принимаемых решений.

Разнообразие условий функционирования угольных шахт обуславливает проблематику принятия решений относительно возможных вариантов развития горных работ. Наличие большого количества влияющих факторов и ограничений, возможных технологических решений, неоднозначность критериев оценки вариантов усложняют поиск и обоснование оптимальных параметров развития горных работ. Многокритериальность при принятии решений обусловлена наличием в системе угольной шахты различных подсистем (вентиляция; транспорт угля, материалов, породы; водоотлив и т. д.) и, соответственно, наличием показателей, характеризующих степень эффективности работы каждой подсистемы.

Угольные шахты являются сложными динамическими системами со значительной инерционностью основных производственных процессов. Функционирование шахт при колебании величины спроса и цены на угольную продукцию, предопределяет необходимость постоянной адаптации производственной системы в соответствии с изменяющимися условиями.

В таких условиях традиционные подходы к принятию решений, ориентированные на рассмотрение ограниченного количества вариантов, без комплексного анализа альтернативных сценариев, не могут обеспечить эффективную работу шахт.

Развитие информационных технологий создаёт предпосылки для проектирования вариантов развития угольной шахты на основе комплексного пространственно-временного моделирования вариантов. Активно осуществляется цифровая трансформация горнодобывающей отрасли. В настоящее время её основными направлениями являются: создание цифрового двойника, автоматизация и роботизация, интернет вещей, прогнозная аналитика, машинное обучение, имитационное моделирование и т. д. [1–3]. Имитационное моделирование наиболее часто применялось при проектировании и диспетчеризации транспортных сетей горных предприятий [4]. При этом имитационные модели, как правило, не являлись интегрированными в пространственную модель.

С целью моделирования горных работ в пространстве и во времени на базе программной платформы Blender разрабатывается специальное программное обеспечение Minetools. Данное программное обеспечение позволяет создавать анимационные модели сценариев развития горных работ, тем самым производить имитацию и осуществлять сравнение вариантов.

Основными объектами модели, меняющими свои характеристики во времени, являются выемочные столбы и горные выработки. Позиционирование выемочных столбов и пластовых горных выработок осуществляется с помощью привязки их к каркасной модели угольного пласта.

Процесс моделирования заключается в следующем: в пространстве модели строится календарный план отработки запасов, то есть осуществляется построение выемочных столбов, для них задаются параметры (время запуска и скорость подвигания лавы, мощность пласта, плотность угля в массиве и т. д.), далее строится модель сети горных выработок, каждой выработке задаются различные параметры (начало или конец проведения, скорость проведения, площадь поперечного сечения, назначение, тип и т. д.). Автоматически рассчитываются различные характеристики создаваемых объектов. После построения динамических объектов производится имитация (анимация) отработки запасов (рис. 1).

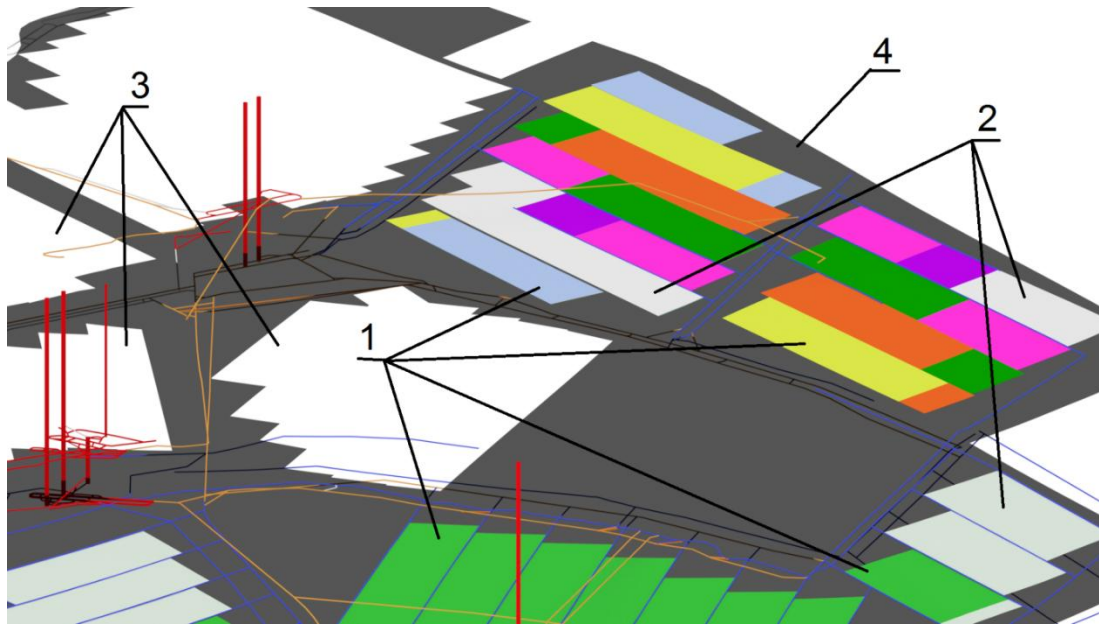


Рисунок 1. Анимационная модель отработки запасов

1 – выемочные столбы; 2 – отработанное пространство за время моделирования; 3 – отработанные участки пласта; 4 – каркасная модель угольного пласта

В процессе имитации рассчитываются различные показатели, характеризующие вариант отработки запасов (суммарная протяжённость горных выработок, средняя глубина их заложения, объём обрабатываемых запасов и другие). Далее на основе показателей производится сравнение вариантов и дальнейшая их оценка.

С использованием разработанного программного обеспечения проведена оценка вариантов отработки части запасов одной из шахт Донбасса. Моделирование вариантов разработки панели (рис. 2) позволяет оценить степень концентрации горных работ. Так, при одинаковой конфигурации сети горных выработок и запасов выемочных столбов, разработка панели в варианте 1 растянута во времени. Это приводит к деконцентрации горных работ, а именно к большей неравномерности (рис. 3) и уменьшению математического ожидания суточной добычи из панели а также к увеличению сроков поддержания панельных и магистральных выработок.

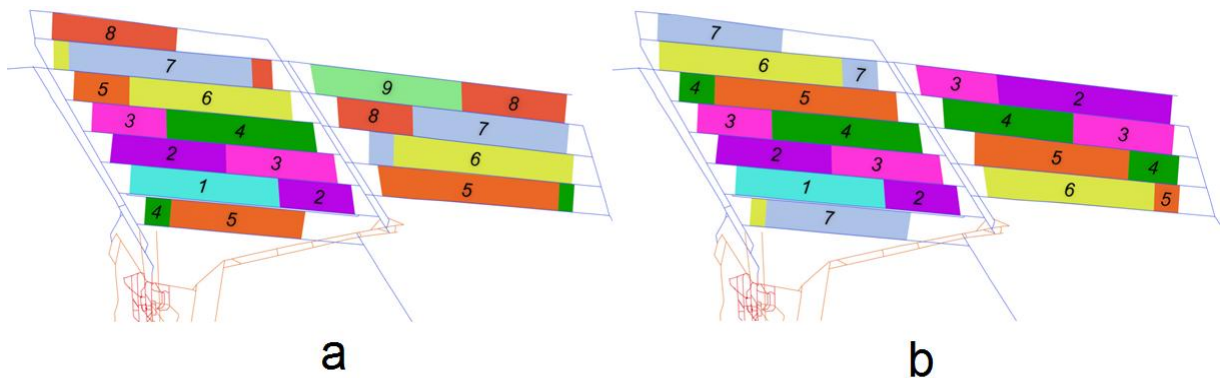


Рисунок 2. Календарный план отработки панели
а – вариант 1; б – вариант 2

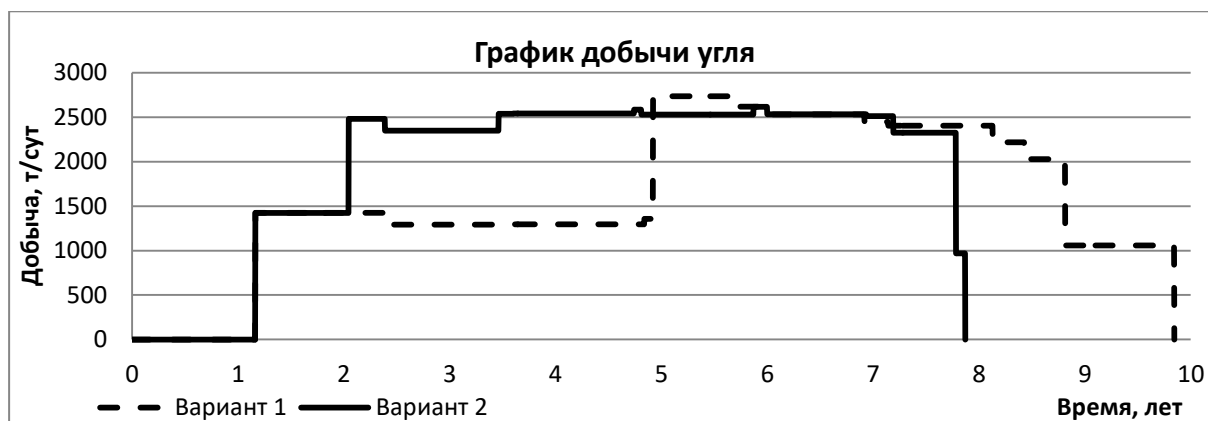


Рисунок 3. Объём транспортирования угля из панели по полевому конвейерному штреку

Таким образом, разработка комплексных компьютерных моделей, позволяющих имитировать варианты разработки запасов в пространстве и во времени, позволит повысить степень обоснованности принимаемых решений при изменчивости условий функционирования угольных шахт.

Список литературы:

1. Лукичев С. В., Наговицын О. В. Цифровая трансформация горнодобывающей промышленности: прошлое, настоящее, будущее // Горный журнал.– 2020.– № 9.– С. 13–18. DOI: 10.17580/gzh.2020.09.01.
2. Barnewold L. Digital technology trends and their implementation in the mining industry // Mining Goes Digital — Proceedings of the 39th international symposium on Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry (APCOM), 2019, Vol. 3, pp. 9—16. DOI: 10.1201/9780429320774.
3. Temkin I., Klebanov D., Deryabin S., Konov I. Predictive Analytics in Mining. Dispatch System Is the Core Element of Creating Intelligent Digital Mine // Sukhomlin V., Zubareva E. (eds) Modern Information Technology and IT Education. SITITO 2018. Communications in Computer and Information Science, Vol 1201, Springer, Cham, pp. 365 -374. DOI: 10.1007/978-3-030-46895-8_28.
4. Конюх В. Л., Зиновьев В. В. Имитационное моделирование в горном деле // Докл. – 2003. – С. 106-110.

Научный руководитель: к.т.н, доцент В.Б. Скаженик

Актуальные проблемы недропользования: Тезисы докладов / Санкт-Петербургский А 437 горный университет. СПб, 2022. 481 с. (XVIII Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых, 15-21 мая 2022 г.)

ISBN 978-5-94211-964-5

ISBN 978-5-94211-965-2 (Том 1)

УДК 621.7+622+ 004.9+504.7+331.45

ББК 33.2:33.3:33.4:33нб:33-4-06

Научное издание

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

XVIII МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ-КОНКУРС СТУДЕНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

15-21 мая 2022 г.

Тезисы докладов

Том 1

Тезисы докладов публикуются в авторской редакции
Печатается с оригинал-макета, подготовленного в Международном центре компетенций
в горнотехническом образовании под эгидой ЮНЕСКО

Сборник включен в базу данных РИНЦ
Научной электронной библиотеки elibrary.ru

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.02

Подписано к печати 18.11.2022. Формат 60×84/8. Уч.-изд.л. 34.

Тираж 100 экз. Заказ 609.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2



Санкт-Петербургский горный университет

Россия, 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, д. 2

Тел. (812) 327 7360. Факс (812) 327 7359

<http://www.spmi.ru>. E-mail: rectorat@spmi.ru

