

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
**Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.**

Институт урбанистики, архитектуры и строительства

РЕСУРСОЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ

**Сборник научных трудов
по материалам VIII Международной
научно-практической конференции**

*Под редакцией доктора технических наук, профессора
Ю.Г. Иващенко*

Саратов 2020

УДК 69.(06)

ББК 38

Р 44

Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе: Сборник научных трудов по материалам VIII Международной научно-практической конференции / под ред. Ю.Г. Иващенко. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2020. 316 с.
ISBN 978-5-7433-3420-9

Сборник научных трудов составлен на основе материалов VIII Международной научно-практической конференции «Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе», которая проводилась на базе Института урбанистики, архитектуры и строительства СГТУ имени Гагарина Ю.А.

В сборнике представлены работы, в которых рассматриваются вопросы энергоэффективности и энергосбережения зданий, строений, сооружений, достижения, проблемы и современное состояние строительного комплекса, жилищно-коммунального и дорожного хозяйства, экологические технологии в строительстве, транспорте и энергетике, особенности геоэкологии урбанизированных территорий. Широко представлены работы по исследованию и созданию различных материалов, на основе новых и традиционных местных материалов, а также работы по математическому моделированию процессов.

Предназначается для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов, специализирующихся в области градостроительства, архитектуры и строительства, а также для инженерно-технических работников строительной, дорожно-строительной, энергетической и других отраслей промышленности.

Редакционная коллегия:

доктор технических наук, профессор *Ю.Г. Иващенко* (отв. редактор)
кандидат технических наук *М.П. Кочергина* (зам. отв. редактора)

кандидат архитектуры, доцент *С.Ф. Дядченко*
кандидат архитектуры, доцент *В.В. Кудрявцев*
доктор технических наук, профессор *Н.Н. Осипова*
доктор технических наук, профессор *В.В. Петров*
доктор биологических наук, профессор *Е.И. Тихомирова*
доктор технических наук, доцент *Н.Е. Кокодеева*

Одобрено

редакционно-издательским советом

Саратовского государственного технического университета
имени Гагарина Ю.А.

*Ответственность за содержание и достоверность сведений,
представленных в материалах конференции, возлагается на авторов*

© Саратовский государственный
технический университет, 2020

© Авторы статей, 2020

ISBN 978-5-7433-3420-9

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Institute of Urban planning, Architecture and Civil Engineering

**RESOURCE-AND-ENERGY
EFFICIENT TECHNOLOGY IN
CONSTRUCTION INDUSTRY**

**Proceedings
of the 8th International Scientific Conference**

Editor-in-chief: Professor Yu.G. Ivashchenko

Saratov 2020

УДК 69.(06)

ББК 38

P 44

Resource-and-Energy Efficient Technology in Construction Industry:
Proceedings of the 8th International Scientific Conference. Saratov:
SSTU Publishers, 2020. 316 p.
ISBN 978-5-7433-3420-9

A compilation of articles is based on the materials presented at the 8-th International Scientific Conference on resource-and-energy efficient technology in the construction industry, which was hosted by the Institute of Urban Planning, Architecture and Civil Engineering, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov. Individual papers are devoted to the achievements, problems and contemporary condition of civil engineering, housing, utility services, and road construction, along with environmentally-friendly technology in construction, transportation and power supply, as well as specificities of urban areas' geocology.

The compilation is intended for scientists, teachers, post-graduate and undergraduate students specializing in urban planning, architecture and civil engineering, as well as for engineering and technical professionals in building and road construction, power engineering and other industries.

Approved
by the Editorial Board of Yuri Gagarin State Technical
University of Saratov

ISBN 978-5-7433-3420-9

© Yuri Gagarin State Technical
University of Saratov, 2020
© Authors of the articles, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Секция 1. Научно-исследовательские и проектные разработки в области архитектуры, градостроительства, дизайна, историко-архитектурного наследия	9
<i>Ким А.Ю., Фадеева А.З., Хапилин В.Е.</i> Мариинский институт благородных девиц в Саратове	9
<i>Сухинина Е.А., Степанова А.С.</i> Строительство «зеленых» школ – экологическое образование с детства	14
<i>Тарасова Л.Г., Парфенова А.К.</i> Комфортная среда как важный ресурс развития городского сообщества (на примере прибрежных территорий)	19
Секция 2. Ресурсо- и энергоэффективные строительные материалы и технологии их производства	26
<i>Акопян Т.В., Козлов Н.А.</i> Применение проницаемых бетонных покрытий в современном урбанистическом пространстве	26
<i>Галаутдинов А.Р.</i> Механохимически активированное композиционное гипсовое вяжущее	29
<i>Евстигнеева Ю.В.</i> Разработка огнестойкой перегородки	34
<i>Иващенко Ю.Г., Мамешов Р.Т., Кочергина М.П.</i> Оценка роли активных минеральных наполнителей в формировании структуры композиционных строительных материалов	39
<i>Иващенко Ю.Г., Мамешов Р.Т., Павлова И.Л.</i> Системно-структурный подход в управлении качеством материалов полиструктурного строения	43
<i>Ильина О.Н.</i> Ресурсоэффективные дорожно-строительные материалы и технологии с применением нефтяного шлама	46
<i>Кузнецов М.А., Козлов Н.А.</i> Проницаемые асфальтобетонные покрытия для дорожного покрытия	51
<i>Липунов И.Н., Первова И.Г.</i> Древесно-минеральные композиты из техногенного сырья для производства строительных материалов	55
<i>Никулина Н.С., Дмитренко А.И., Никулин С.С., Санникова Н.Ю.</i> Модификация строительных древесных материалов винилнафталином	60
<i>Палёха К.О., Староверов В.Д.</i> Выбор стеновых строительных материалов для малоэтажного строительства	65
<i>Пиксина А.П.</i> Защитно-декоративное полимерное покрытие, нанесенное в электростатическом поле	71
<i>Пименов С.И.</i> Твердение бетонов на гидромеханохимически активированном вяжущем при тепловой обработке	79
<i>Поляков А.В.</i> Перспективные добавки полифункционального действия в составах на основе гипсовых вяжущих	84

<i>Потрясова Е.В., Фомина Н.Н.</i> Перспективы утилизации отходов содового производства в строительстве	87
<i>Сотсков И.С., Тимохин Д.К.</i> Производство бетонной тротуарной плитки с флуоресцентным эффектом	92
<i>Стенина Н.Г.</i> Природа гидратации в системе С–S–Н и технологии строительного материаловедения	96
<i>Тхет Наинг Мьинт, Аунг Чжо Ньейн, Хтет Паинг Аунг, Кривобородов Ю.Р.</i> Влияние добавки высокодисперсного шлака на свойства портландцемента	102
<i>Тхет Наинг Мьинт, Мин Хеин Хтет, Хан Тао Ко, Кривобородов Ю.Р.</i> Коррозионная стойкость цементного камня на основе портландцемента	105
<i>Хренов Г.М., Рерих А.В.</i> Разработка состава фибробетонной смеси повышенной пластичности.....	108
<i>Шошин Е.А.</i> Свойства силикатного микронаполнителя на основе синтетических гидросиликатов кальция.....	118
Секция 3. Технология и организация строительства	124
<i>Косенко Д.А., Павлова И.Л., Кочергина М.П.</i> Проблемы укладки бетонной смеси в массивные конструкции	124
<i>Мухаметрахимов Р.Х., Алиуллова И.Р.</i> Контроль качества устройства деформационных швов мостов с резиновым компенсатором	128
<i>Снарский С.В., Грибанова Н.Ф.</i> Применение операционного моделирования к задаче организации строительных процессов	133
Секция 4. Развитие инженерных методов расчета и проектирования строительных конструкций	143
<i>Амоян М.Ф., Ким А.Ю., Хапилин В.Е.</i> Расчет большепролетного быстровозводимого сооружения с учетом нелинейных факторов	143
<i>Иноземцев В.К., Муртазина Г.Р.</i> Оценка устойчивости от опрокидывания высотного здания на основании с карстовыми процессами	148
<i>Кривулина Э.Ф., Шляхов С.М.</i> Задача оценки влияния серного упрочнения на несущую способность бетонной трубы под тепловым воздействием	154
<i>Кузнецов И.М.</i> Некоторые особенности учета действия ветровой нагрузки на стенки металлического силоса.....	161
<i>Редков В.И., Чурочкин Н.С.</i> Геотехнические условия работы подземных сооружений на склонах с оползновыми процессами	170
<i>Сурнин Д.А., Шагивалеев К.Ф.</i> Расчет тонкостенной балки	177
<i>Шагивалеев К.Ф., Сурнина Е.К.</i> Анизотропная цилиндрическая оболочка при действии осесимметричной нагрузки.....	182
<i>Шагивалеев К.Ф., Сурнина Е. К., Сурнин Д.А.</i> Полукруглая арка при действии ветровой нагрузки.....	188

Секция 5. Моделирование и оптимизация энергосберегающих систем газотеплоснабжения, строительной климатотехники, водоснабжения и водоотведения	190
<i>Веретенникова М.С., Кузнецов С.С.</i> Сравнительные характеристики моделей инфракрасных электрообогревателей	190
<i>Калякин А. М., Калякина Н.А., Сауткина Т.Н.</i> Метод упаривания как простой способ детектирования омагниченности воды	194
<i>Осипова Н.Н., Орлова Ю.А.</i> Обоснование минимального уровня заполнения резервуара бутаном для обеспечения необходимого газопотребления.....	198
<i>Первалов С.Д.</i> Сравнительный анализ использования сжиженных газов в современных условиях.....	204
<i>Рулев А.В., Усачева Е.Ю.</i> Тепловой расчет испарителей и конденсаторов тепловых насосов на зеотропных смесях	208
Секция 6. Развитие инновационных технологий строительства и эксплуатации транспортных сооружений с целью обеспечения их экономичности, надежности и безопасности	213
<i>Добшиц Л.М., Николаева А.А.</i> Сорбционные процессы в бетонных конструкциях и сооружениях	213
<i>Елманов К.А., Катков Д.С.</i> Обеспечение надежности ресурсолимитирующих пар трения в нефтегазовом деле	216
<i>Исмагулова С.М., Курмашев Б., Убаев Б.И.</i> О проблеме обеспечения устойчивости положения магистральных трубопроводов на слабонесущих грунтах	221
Секция 7. Экологические технологии в строительстве, транспорте, энергетике и водном хозяйстве.....	230
<i>Абросимова О.В., Рычева А.В.</i> Оценка экологического состояния почвенного покрова на территории г. Саратова.....	230
<i>Антонова О.М., Тихомирова Е.И.</i> Новые подходы прогноза токсиколого-гигиенических характеристик и экспресс-оценки опасности соединений, образующихся в процессе деятельности современных ПТК по обработке, утилизации и обезвреживанию опасных отходов применительно к человеку	236
<i>Атаманова О.В., Брехов Е.Ю.</i> Совершенствование технологии очистки сточных вод предприятия ООО «ХОЛСИМ (РУС)»	240
<i>Атаманова О.В., Шевченко И.А.</i> Изучение состава сточных вод города Лугаи Ленинградской области.....	245
<i>Атаманова О.В., Романевич А.С.</i> Изучение кинетики (со)полимеризации акриламида, акриловой кислоты и акрилата хитозана при получении флокулянтов для очистки сточных вод	250
<i>Ахмадиев Г.М.</i> Зеленая архитектура для городских экосистем	254

<i>Ахмадиев Г.М.</i> Экологические аспекты оценки и прогнозирования опасности радона для участков застройки	257
<i>Ахмадиев Г.М.</i> Экотехнологические аспекты строительства зданий и сооружений в животноводческих комплексах	260
<i>Безруков М.Е.</i> Оптимизация расходов по обращению с отходами	264
<i>Веденеева Н.В.</i> Технология сорбционной очистки водных сред от загрязнений с использованием гранулированного бентонита	268
<i>Журавлева А.Н., Чиркова Ю.Л.</i> Эколого-экономическое обоснование применения попутного нефтяного газа	272
<i>Маргарян Л.А., Айрапетян С.С., Банян Л.С., Мартирян А.И.</i> Оценка эффективности использования осаждения струвита для извлечения азота из сточных вод	277
<i>Плотникова О.А., Бессонова В.С.</i> Обеспечение экологической безопасности газоперерабатывающего предприятия	280
<i>Плотникова О.А., Тихомирова Е.И.</i> Полициклические ароматические углеводороды: люминесцентный метод определения в воде	285
<i>Симонова З.А., Житлова Е.А., Наумова В.В.</i> Твердые коммунальные отходы как источник энергии.....	289
<i>Симонян Г.С., Сагратян А.А., Симонян А.Г., Маргарян Л.А.</i> Энтропийно-информационная оценка экологического состояния подземных вод	293
<i>Татаринцева Е.А., Комиссаренко М.В.</i> Исследование возможности использования гальванического шлама в бетонных смесях	296
<i>Фомина А.А., Абашина А.А.</i> Проектная разработка благоустройства центральной части города Саратова (на примере жилого массива Кировского района)	300
<i>Шашуловская Е.А., Мосияш С.А.</i> К вопросу обоснования методических подходов для разработки региональных ПДК.....	304
<i>Шестаков Н.И., Алексеева Д.С., Полосина Д.В.</i> Эффективные фотокаталитические бетоны для акустических экранов автомобильных дорог	309

**Секция 1. НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ И ПРОЕКТНЫЕ
РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ АРХИТЕКТУРЫ,
ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА, ДИЗАЙНА,
ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ**

УДК 725.85

**МАРИИНСКИЙ ИНСТИТУТ БЛАГОРОДНЫХ
ДЕВИЦ В САРАТОВЕ**

**Ким Алексей Юрьевич¹, Фадеева Альбина Закарьяевна²,
Хапилин Виктор Евгеньевич¹**

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., Россия*

e-mail: sberbanksp@yandex.ru, khapilin2010@yandex.ru¹

Профессионально-педагогический колледж СГТУ, Россия

e-mail: albina.fadeeva.00@bk.ru²

***Аннотация.** Описывается здание института благородных девиц – одно из старейших учебных заведений города Саратова. Приводится подробное описание его строительства и функционирования на протяжении почти ста пятидесяти лет.*

***Ключевые слова:** Мариинский институт благородных девиц, историко-архитектурное наследие, придомовая церковь Марии Магдалины, губернское дворянское собрание*

MARIINSKY INSTITUTE OF NOBLE MAIDENS IN SARATOV

**Kim Alexey Yuryevich¹, Fadeeva Albina Zakaryaevna²,
Hapilin Viktor Yevgenyevich¹**

¹Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

e-mail: sberbanksp@yandex.ru, khapilin2010@yandex.ru

²Professional and pedagogical College of SSTU, Russia

e-mail: albina.fadeeva.00@bk.ru

***Abstract.** The article describes the building of the Institute of noble maidens, one of the oldest educational institutions in the city of Saratov. A detailed description of its construction and operation for almost one hundred and fifty years is given.*

***Keywords:** Mariinsky Institute of noble maidens, historical and architectural heritage, local Church of Mary Magdalene, provincial noble Assembly*

Одним из объектов историко-архитектурного наследия в городе Саратове является здание школы № 95 бывшего здания Мариинского института благородных девиц. Это одно из старейших учебных заведений нашего города, впервые вопрос об его открытии был поставлен на собра-

нии дворян Саратовской губернии в декабре 1839 года. Тогда же было решено просить Великую княгиню Марию, дочь Николая I, быть попечителем данного учебного заведения. В настоящее время эти события увековечены памятной табличкой на стене здания и памятником Императору Всероссийскому, царю Польскому и великому князю Финляндскому Николаю I (рис. 1).



Рис. 1. Памятник Императору Николаю I у стен здания школы № 95

На организационные мероприятия ушло почти пять лет, столько лет потребовалось, чтобы купить усадьбу бывшего саратовского губернатора Алексея Давыдовича Панчулидзева. Усадьба находилась по современному адресу: ул. 2-я Садовая, д. 23. В настоящее время на месте бывшей усадьбы стоит средняя школа № 95, а от дома губернатора сохранились только два флигеля: в одном сейчас жилой дом, а в другом – кафе (рис. 2, 3).



Рис. 2. Средняя школа № 95 в наши дни



Рис. 3. Флигель института, в наши дни жилой дом

Наконец, летом 1848 года, через четыре года после покупки усадьбы, старый дом был сломан, так как архитекторы были против проживания воспитанниц в деревянном доме, противопожарные нормы в Российской Империи всегда были на высоте [4].

Больше двухсот тысяч кирпичей позже были использованы в строительстве нового здания, хотя купить пришлось еще гораздо больше.

Как всегда, в нашей стране не хватало денег на новое строительство, сборы денег затянулись на долгие семь лет, наконец, весной 1855 года известный саратовский строитель купец первой гильдии Василий Вуколович Гудков начал строительство, которое продлилось более трех лет. Строительство Мариинского института благородных девиц закончили в конце октября 1857 года. Между принятием решения и окончанием строительства здания института прошло восемнадцать лет.

К чести губернского дворянского собрания оно не стало ждать три года и открыло институт в доме Челюсткиной Анны Никаноровны в октябре 1854 года по адресу: ул. Мичурина, 84.

Правда, сама Анна Никаноровна к этому времени уже умерла. В настоящее время этот дом существует, хотя уже два раза существенно перестроен.

Вначале был набран только класс младших воспитанниц в составе двадцати двух человек, потом была набрана еще средняя группа воспитанниц. Три года обучение происходило в этом доме и стоило городской казне тысячу рублей в год серебром за аренду здания. В сентябре 1857 года был открыт на современном месте Мариинский институт благородных девиц, туда были переведены все ученицы (рис. 4).

Так как в Российской Империи благородными считали только дворянок, то в институт брали только их. Надо сказать, учили в институте очень хорошо, помимо общих предметов, преподавали танцы, пение, рисование. Девушки после окончания в совершенстве знали два языка: французский и немецкий, английский в те времена не учили [3].



Рис. 4. Бывший флигель института, в настоящее время кафе «Мост»



Рис. 5. Здание института в момент постройки

Оценки тогда ставили по двенадцатибалльной системе, как сейчас в Белоруссии, и у многих учениц были очень высокие оценки. С 1861 года в институте ввели шестилетнее обучение, а с 1875 года – семилетнее. При этом начальное обучение воспитанницы, как правило, получали в домашних условиях. Многие выпускницы потом получали высшее образование, многие оставались работать в родном институте в качестве классных дам.

В 1893 году по проекту архитектора Алексея Марковича Салько был построен лазарет для воспитанниц Мариинского института благородных девиц. По его же проекту в 1896 году была сделана двухэтажная пристройка к зданию института с церковью на втором этаже и столовой с буфетом на первом. В настоящее время в здании располагается Храм Марии Магдалины [1].



Рис. 6. Церковь Марии Магдалины в наши дни

В данном здании институт просуществовал шестьдесят лет: с осени 1857 года по осень 1917 года. За это время было выпущено 1200 учениц. С большим трудом удалось уговорить новую власть доучить воспитанниц в учебном 1917/1918 году, последний выпуск состоялся весной 1918 года, в Советской России начиналась гражданская война, и стране было не до воспитанниц Мариинского института [2].

Авторы данной статьи надеются, что жители и гости нашего города обратят внимание на это прекрасное здание, которое за годы своего существования выпустило не только более тысячи воспитанниц института, но и десятки тысяч выпускников средней школы, которые строили заводы и фабрики в период индустриализации страны, защищали ее, отстраивали страну заново после войны, работают на нее и в настоящее время.

Список литературы

1. Ким А.Ю. Старейшие учебные заведения Саратова / А.Ю. Ким, А.А. Беспечная, В.А. Гринько // Молодой исследователь: вызовы и перспективы: сб. ст. по материалам LXXVII Международной научно-практической конференции «Молодой исследователь: вызовы и перспективы». № 24 (77). М.: Интернаука, 2018.
2. Семенов В.Н. История купеческого Саратова // Молодой исследователь: вызовы и перспективы: сб. ст. по материалам LXXVII Международной научно-практической конференции «Молодой исследователь: вызовы и перспективы». № 26(87). М.: Интернаука, 2019.
3. Сайт «Фотографии старого Саратова» (oldsaratov.ru)
4. Блог Дениса Жабкина (жабкин.жж.рф)

СТРОИТЕЛЬСТВО «ЗЕЛЕННЫХ» ШКОЛ – ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ С ДЕТСТВА

Сухинина Елена Александровна, Степанова Анна Сергеевна

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., Россия*

e-mail: arx-art-lena@yandex.ru, StepanovaAnn485@yandex.ru

***Аннотация.** В статье рассматриваются приемы создания комфортной и безопасной образовательной среды в школах с учетом современных принципов экологичности и основных целей устойчивого развития. Изучается влияние экологичных архитектурно-инженерных решений образовательных учреждений на формирование сознания и воспитание детей. На основе анализа примеров «зеленых» школ выделены основные методы проектирования экоустойчивых общеобразовательных учреждений.*

***Ключевые слова:** «зеленая» школа, энергоэффективность, устойчивое развитие, экологическое сознание, воспитание*

CONSTRUCTION OF «GREEN» SCHOOLS – ECOLOGICAL EDUCATION FROM CHILDHOOD

Sukhinina Elena Alexandrovna, Stepanova Anna Sergeevna

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

e-mail: arx-art-lena@yandex.ru, StepanovaAnn485@yandex.ru

***Abstract.** Techniques for creating a comfortable and safe educational environment in schools, taking into account modern principles of environmental friendliness considered. The influence of environmentally friendly architectural and engineering solutions of educational institutions on the formation of consciousness and upbringing of children studied. The main methods of designing sustainable educational institutions highlighted.*

***Keywords:** green school, energy efficiency, sustainable development, environmental awareness, education*

Общемировые экологические проблемы диктуют необходимость формирования у детей экологического сознания с раннего детства.

Одна из главных задач «зеленых» школ – это воспитание поколения, понимающего необходимость сохранения окружающей среды.

«Зеленая школа» – это объект, воздействие которого на окружающую среду минимально. Главный принцип «зеленых» школ основан не только на минимизации энергетических и материальных затрат на строительство и эксплуатацию здания, но и на экологическом просвещении учеников. Их обучают сортировке и переработке отходов, соблюдению режима экономии ресурсов, снижению своего экологического следа на планете.

Экологические аспекты, используемые в «зеленых» школах, лучшим образом отражаются на состоянии здоровья учеников, их психофизическом комфорте, развитии интеллектуального потенциала.

Американские исследователи «зеленых» школ опросили учителей и администраторов 12 учреждений о влиянии экологических решений на учащихся: 87 % респондентов сообщили о положительном влиянии на здоровье; 71 % респондентов отметили положительное влияние на успеваемость учащихся; 71 % сообщили о положительном влиянии на поведение учеников; 85 % сообщили, что их собственное здоровье и продуктивность стали выше [6].

Под экологическим образованием и воспитанием следует понимать формирование сознания, учитывающего различные стороны материально-го единства человека и природы. Формирование экологического мировоззрения и мышления связано с выработкой у учащихся собственной внутренней позиции к реальному миру [4].

Одними из первых «зеленых» школ стали школа в Германии в районе Ридберг города Франкфурта-на-Майне (2004 г.), возведенная в соответствии со стандартом Passive House, и начальная школа Montessori в г. Ауфкирхене, Германия (2003-2004 гг.); особое внимание в них уделялось вопросам энергосбережения.

Наглядным примером экологичной школы является Копенгагенская международная школа в Дании (2017 г.). Фасад здания покрыт 12000 штуками солнечных панелей, занимающих площадь около 6 тыс. м², что обеспечивает более половины годового электропотребления здания. Помимо экологичности материала, солнечные батареи несут в себе и «образовательную функцию», на их примере школьники учатся контролировать производство и потребление энергии [1] (рис. 1).



Рис. 1. Копенгагенская международная школа

Архитекторы студии Architype в 2013 году построили в Великобритании школы Бушбери-Хилл и Оукмидоу, соответствующие немецкому энергоэффективному стандарту Passive House.

Для двух школ были учтены: ориентация по сторонам света; компактность объемно-планировочного решения; единый герметичный слой теплоизоляции по контуру фасадов; вентиляция с системой рекуперации тепла; экологичные материалы для отделки помещений, в большинстве своем произведенные в Англии, что минимизировало затраты на их транспортировку.

В теплые месяцы в английских школах Бушбери-Хилл и Оукмидоу для вентиляции воздуха используется центральное рекреационное пространство, которое превращается в «вытяжную трубу», благодаря перепаду высот и эффекту самотяги, теплый воздух поднимается и выходит через верхние окна. Также Architype была проведена образовательная программа, объясняющая ученикам основные принципы энергоэффективности и экологичности этих школ [3].

Школа Кэтлин Гримм в Нью-Йорке (2015 г., бюро SOM) отличается тем, что не потребляет энергию из городской сети. Огромный навес, состоящий из фотоэлектрических элементов, и ветровая турбина обеспечивают здание полным объемом необходимой энергии. Система отопления основана на геотермальной энергии земли, а горячей водой здание обеспечивают солнечные коллекторы на кровле [7] (рис. 2).



Рис. 2. Школа Кэтлин Гримм в Нью-Йорке

Архитекторы школы «Оливье де Серр» в Париже стремились сделать здание, которое бы стало наглядным образцом экологичности для учеников. При строительстве были сохранены существующие деревья, также 420 м² фасадов и 700 м² кровли здания озеленены, в результате чего объем «природных» компонентов вырос в 2,5 раза.

Объект имеет благоприятную ориентацию, естественное освещение и естественную вентиляцию внутренних помещений (рис. 3).



Рис. 3. Школа Оливье де Серр в Париже

Установленные на кровле школы «Оливье де Серр» солнечные коллекторы обеспечивают 40 % горячей воды в здании. Кроме этого, школьников обучают сортировке мусора, вторичному использованию отходов, садоводству и выращиванию экологически чистых овощей и фруктов на прилегающей территории [2].

В России в 2015 году в Москве была построена Международная гимназия Сколково. Архитектурное и объемно-планировочное решение здания организовано по основным принципам энергоэффективности. Площадь остекления составляет 40 % площади стены для южной, восточной и западной ориентации, а на северной стене доля стекла – 55 % от всей площади. Гимназия занимается образовательными программами для учеников по разделному сбору бытовых отходов (рис. 4).



Рис. 4. Международная гимназия Сколково

В нашей стране также существует практика внедрения энергосберегающих технологий в уже существующие школы. С 2011 года в Рыбинске (Ярославская область) начали применять принципы снижения энергопотребления в местной школе. После модернизации здания потребление энергетических ресурсов школы снизилось на 31,2 % [5].

«Зеленые» школы проектируются и строятся таким образом, чтобы свести к минимуму воздействие на окружающую среду.

Одним из главных критериев экологичности школ являются мероприятия, направленные на создание благоприятного микроклимата в учебных помещениях. Благодаря этому учебный процесс становится эффективнее, повышается работоспособность и качество обучения.

В результате изучения международного и российского опыта проектирования и строительства экологически устойчивых общеобразовательных учреждений выявлены основные экоаспекты:

- безопасное строительство и эксплуатация объекта;
- компактность здания и учет ориентации по сторонам света;
- «зеленые» фасады и кровля;
- использование возобновляемых источников энергии;
- минимизация выбросов CO₂ в атмосферу;
- экологичные и переработанные материалы;
- пассивные методы энергосбережения (по стандарту Passive House);
- использование естественного освещения и проветривания;
- минимизация искусственного освещения помещений и территории;
- регулирование температуры и микроклимата в здании;
- эффективная звукоизоляция и шумозащита;
- отдельный сбор бытового мусора, возможность переработки и вторичного использования отходов (рециклинг);
- вовлечение обучающихся и сотрудников в экологическую жизнь школ;
- включение образовательных экопрограмм в учебный процесс.

Помимо экологичности и энергоэффективности, «зеленая» школа обладает огромным потенциалом для обучения нового поколения, неравнодушного к дальнейшей судьбе планеты.

Внедрение принципов экологичности в образовательный процесс способствует формированию у учеников осознанного отношения к окружающему миру, развивает их эко-активный потенциал.

«Зеленые» школы благодаря наглядному изучению аспектов экологичности воспитывают в детях привычки экологичного образа жизни, норм и правил взаимодействия с природой, активности в решении глобальных экологических проблем и целей устойчивого развития.

Список литературы

1. Копенгагенская Международная Школа Nordhavn / C.F. Møller. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.archdaily.com/879152/copenhagen-international-school-nordhavn-cf-moller> (дата обращения 17.11.2020).
2. Начальное «зеленое» образование [Электронный ресурс]. URL: <https://archi.ru/world/63572/nachalnoe-zelenoe-obrazovanie> (дата обращения 17.11.2020).
3. Одеяло для пассивной школы [Электронный ресурс]. URL: <https://archi.ru/world/51168/odeyalo-dlya-passivnoi-shkoly> (дата обращения 17.11.2020).

4. Турдикулов Э.А. Экологическое образование учащихся в процессе изучения предметов естественно-научного цикла (физические аспекты образования): дис. ... д-ра. пед. наук. Ташкент, 1982. 356 с.

5. Школа как образец энергоэффективности [Электронный ресурс]. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5576 (дата обращения: 17.11.2020).

6. Barr S., Dunbar B.H., Cross J.E., 2013. Linking Performance & Experience: an Analysis of Green School. Published April 2013 Institute for the Built Environment Colorado State University 1501 Campus Delivery Fort Collins, CO 80523-1501. [Электронный ресурс]. URL: https://www.dlrgroup.com/media/424339/Linking_Performance_Experience_CSU-Research.pdf. (дата обращения 10.11.2020).

7. The Kathleen Grimm School for Leadership and Sustainability at Sandy Ground / SOM [Электронный ресурс]. URL: <https://www.archdaily.com/780383/the-kathleen-grimm-school-for-leadership-and-sustainability-at-sandy-ground-som> (дата обращения 17.11.2020).

УДК 72.012

КОМФОРТНАЯ СРЕДА КАК ВАЖНЫЙ РЕСУРС РАЗВИТИЯ ГОРОДСКОГО СООБЩЕСТВА (НА ПРИМЕРЕ ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ)

Тарасова Лариса Германовна, Парфенова Анастасия Константиновна

Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А., Россия

e-mail: tar-lar11@yandex.ru, Parfyonova-99@mal.ru

***Аннотация.** Рассматриваются проблемы формирования комфортной городской среды российских городов и важности этого процесса для социального развития городского сообщества. Анализируются способы создания благоприятной среды для человека на примере прибрежных территорий.*

***Ключевые слова:** прибрежные территории, комфорт, природный потенциал, баланс*

COMFORTABLE ENVIRONMENT AS AN IMPORTANT RESOURCE FOR URBAN COMMUNITY DEVELOPMENT (ON THE EXAMPLE OF COASTAL TERRITORIES)

Tarasova Larisa Germanovna, Parphenova Anastasia Konstantinovna

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

e-mail: tar-lar11@yandex.ru, Parfyonova-99@mal.ru

***Abstract.** The article discusses methods for creating a comfortable and safe environment in urban areas, taking into account the program «Comfortable urban environment». We study ways to create a favorable environment for people and its impact on the development of the community.*

***Keywords:** coastal territory, comfort, natural potential, balance*

Тот факт, что городская среда самым непосредственным образом влияет на развитие человека, на его поведение, физическое и психическое самочувствие, не является открытием, но понимание механизмов этого влияния и соответствующее использование в процессе проектирования стали крайне актуальными в последние десятилетия. Свободное время, которое предоставила жителям развитых стран постиндустриальная экономика, является огромной ценностью в том случае, когда созданы условия для реализации разнообразных моделей его использования в городском пространстве. Ведущий британский специалист по развитию городов Чарльз Лендли в своей книге «Креативный город» отмечал, что свободное время горожан должно тратиться не на бесполезное времяпрепровождение, а на развитие креативной личности, так как «главный ресурс города – люди: человеческий ум и творческие способности» [1].

Города европейских стран делают все возможное, чтобы городская среда была привлекательной для человека, чтобы в этой среде формировался городской социум со своей историей, традициями, праздниками, со своей индивидуальностью, отличающей их город от многих других. Такое городское сообщество идентифицирует себя со средой, участвует в процессе благоустройства, поддерживает чистоту и порядок в городских пространствах.

К сожалению, те принципы и нормы формирования городских пространств, которые давно приняты в европейских странах, очень медленно приживаются в России. Причиной тому является поверхностное отношение муниципальной власти к городскому благоустройству, сводящееся в лучшем случае к укладке плитки и расстановке лавочек; непонимание важности этого процесса для развития городского сообщества, для сохранения численности горожан, повышения привлекательности города для его жителей и туристов.

В 2018 году в России было разработано 12 нацпроектов, которые должны были способствовать активизации процессов развития страны. Одним из них стал проект «Комфортная городская среда», направленный на коренное изменение качества жизни в наших городах. В рамках этого проекта было проведено множество мероприятий, направленных на активизацию процессов реформирования среды больших и малых российских городов, более активного включения в этот процесс населения.

Окружение человека может и вдохновить его, и вогнать в депрессию, тем самым подталкивая к реализации как позитивных, так и негативных моделей поведения. Формируя общественные пространства, важно учитывать не только сложившиеся стереотипы поведения горожан, но и предлагать новые, более разнообразные и актуальные формы их использования, способствующие увеличению социальных контактов и удовлетворяющие потребности различных групп населения.

Интересный, нестандартный дизайн общественных пространств ненавязчиво прививает жителям чувство прекрасного, расширяет их взгляд на возможности самореализации. Люди находят в обновленном языке формообразования городских территорий новые примеры для создания достойной среды обитания и стараются бывать как можно больше вне своих домов.

Применительно к общественным пространствам можно выделить физиологический, социальный, психологический аспекты комфорта:

– *физиологический комфорт* – это комфортное покрытие, удобное оборудование, звуковой и световой комфорт, возможность укрыться от прямых солнечных лучей, от дождя и т. д.;

– *социальный комфорт* – возможность находиться в больших и малых группах, заниматься актуальными видами деятельности, не мешая друг другу, идентифицировать себя с этим местом;

– *психологический комфорт* связан со зрительным и эмоциональным восприятием того или иного пространства и зависит от его параметров (длина, ширина, высота), открытости-замкнутости, возможности общения или уединения, наполненности знаковыми элементами.

Задачами городского ландшафтного дизайна являются раскрытие природного потенциала места и создание его идентичности, восстановление баланса между природными искусственными компонентами проектируемой территории, создание возможности пребывания человека в городском пространстве с комфортом в любое время и дня, и года.

Приемы формирования общественных пространств мы рассмотрим на примере прибрежных территорий, которые являются наиболее ценными и притягательными для горожан за счет возможности реализации значительного спектра активной и пассивной деятельности, благодаря своей линейной протяженности и близости водной поверхности.

Прибрежные территории можно классифицировать по нескольким критериям: по ширине прибрежной зоны и структуре рельефа (плоский, активный); по характеру примыкающей к ним застройки (жилая, общественная, промышленная); по преобладающим видам деятельности (преимущественно транзитное движение, спортивные функции, пассивный отдых (созерцание), пляжный отдых; по характеру озеленения и благоустройства; по наличию – отсутствию возможности парковки водного транспорта. В каждой из ситуаций, которая может включать разнообразное сочетание вышеперечисленных характеристик, надо найти наиболее приемлемое решение.

Крутой уклон рельефа прибрежной территории позволяет сделать четкое зонирование с разделением разных потоков движения и видов деятельности по ярусам. К примеру, нижний ярус используется как причал для водного транспорта и трасса для движения велосипедистов. Террасированный крутой склон может быть отдан под зону отдыха, созерцания, использоваться в качестве зрительных мест для различных общественных

мероприятий. Верхний ярус набережной представляет собой контактную зону с прилегающей застройкой, насыщенной различными общественными функциями [3] (рис. 1).

Актуальной проблемой при формировании набережных является колебание уровня реки. Эта проблема решается путем обустройства нижних ярусов набережной из конструкций, выдерживающих интенсивный напор воды. В настоящее время проектировщики отказываются от обыденных берегоукрепительных сооружений, стараясь дать человеку максимальную возможность приблизиться к зеркалу воды, соприкоснуться с ним [7] (рис. 2).



Рис. 1. Victoria on the River HAMILTON, NEW ZEALAND; архитекторы: Edwards White Architects; площадь: 4769 м²; год постройки: 2018



Рис. 2. Район Руохолахти в Хельсинки

Спокойный уклон прибрежных территорий удобен для маломобильных групп населения, но имеет и свои минусы. В такой ситуации меньше разнообразия визуальных кадров, отсутствуют точки восприятия реки с различных высотных отметок. Сложнее решается задача разграничения движения пешеходов, велосипедистов и транспорта [6] (рис. 3).



Рис. 3. Набережная озера Кабан, Казань, 2016 г.

«Обустройство набережных с учетом удовлетворения спроса живущих рядом людей в местах отдыха у воды не всегда выливается в организацию широких променадов на несколько ярусов» [7]. Необходимо обеспечить набор различных функций повседневного спроса для жителей прилегающих территорий. Это могут быть спортивные площадки, тренажеры, детские площадки, зоны «открытой воды», кафетерии и т. д. [4,7] (рис. 4,5).



Рис. 4. Реконструкция берега озера Папрокани Тыхи, Польша; архитекторы: RS + Роберт Скитек; 2014 г.



Рис. 5. The Floating Island Брюгге, Бельгия; архитекторы: Dertien12, OBVA; 2018 г.

Индивидуальность прибрежных территорий достигается за счет использования определенного набора пород деревьев и кустарников, с помощью которых возможно обеспечить разграничение движения пешеходов и велосипедистов; включения в систему лестниц, переходов, мостов, используя их как акценты. «Достижимый эффект заключается в том, что для человека на мосту, где традиционно не бывает растительности, создается еще один фрагмент пространства, в котором компоненты природы «сопровождают» его, дополняя возможность обозревать речные панорамы» [6].

Можно увеличить интерес к прибрежным территориям, вписав в них яркие акценты, игру фактур и пластичную геометрию (рис. 6-9), подчеркивая тем самым актуальность местности и ее идентичность [2].



Рис. 6. Набережная озера Кабан, Казань, 2016 г.

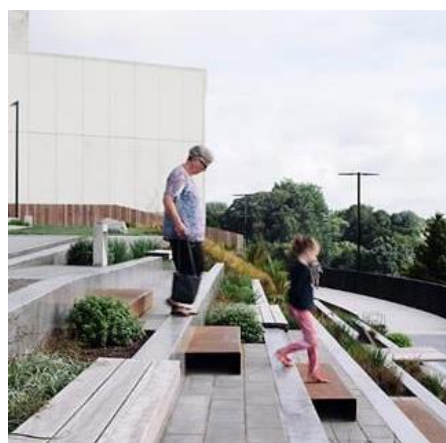


Рис. 7. Victoria on the River HAMILTON, NEW ZEALAND; архитекторы: Edwards White Architects; площадь: 4769 m²; год постройки: 2018 г.



Рис. 8. Реконструкция реки Чжанцзяган Сучжоу, Китай; архитекторы: Votao Landscape



Рис. 9. Реконструкция берега озера Папрокани Тыхы, Польша; архитекторы: RS + Роберт Скитек; 2014 г.

Осуществление ландшафтных преобразований, наполняющих пространства набережных города содержательной жизнью, дает возможность использования дизайнерского ресурса в создании оригинальных сюжетов на береговых территориях, прибавляя к их природной привлекательности актуальный культурный смысл» [7].

Список литературы

1. Лэндри Ч. Креативный город: пер. с англ. М.: Изд. дом «Классика-XXI», 2006. 399 с.
2. Zhangjiagang Town River Reconstruction / Botao Landscape [Электронный ресурс]. URL: https://www.archdaily.com/563128/zhangjiagang-town-river-reconstruction-botao-landscape?ad_source=myarchdaily&ad_medium=bookmark-show&ad_content=current-user (дата обращения 20.11.2020).
3. Victoria on the River / Edwards White Architects [Электронный ресурс]. URL: https://www.archdaily.com/942417/victoria-on-the-river-edwards-white-architects?ad_source=myarchdaily&ad_medium=bookmark-show&ad_content=current-user (дата обращения 20.11.2020).
4. Paprocany Lake Shore Redevelopment / RS + Robert Skitek [Электронный ресурс]. URL: https://www.archdaily.com/775301/paprocany-lake-shore-redevelopment-rs-plus?ad_source=myarchdaily&ad_medium=bookmark-show&ad_content=current-user (дата обращения 20.11.2020).
5. The Floating Island / OBBA & Dertien12 [Электронный ресурс]. URL: https://www.archdaily.com/899820/the-floating-island-obba-and-dertien12?ad_source=myarchdaily&ad_medium=bookmark-show&ad_content=current-user (дата обращения 20.11.2020).
6. Благоустройство набережных озер Кабан в Казани [Электронный ресурс]. URL: <https://prorus.ru/projects/blagoustrojstvo-naberezhnyh-ozher-kaban-v-kazani-1-ya-i-2-ya-ocheredi>.
7. Нефёдов В.А. Городской ландшафтный дизайн: учеб. пособие. СПб.: Любавич, 2012. 320 с.

УДК 691.327

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРОНИЦАЕМЫХ БЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ
В СОВРЕМЕННОМ УРБАНИСТИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ**

Акопян Тигран Варданович, Козлов Николай Алексеевич

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., Россия*

e-mail: tighak65@gmail.com, kozlovnikolai@rambler.ru

Аннотация. Приведены основные проблемы городских дренажных систем, актуальность использования проницаемых бетонов, основные свойства, способы производства и проблемы эксплуатации предлагаемого покрытия.

Ключевые слова: дренажный бетон, водоотведение, дорожное покрытие, проницаемое покрытие, асфальтобетон, бетонная смесь, гидрофобизатор

**APPLICATION OF PERMEABLE CONCRETE
COATINGS IN MODERN URBAN SPACE**

Akopyan Tigran Vardanovich, Kozlov Nikolai Alekseyevich

Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia

e-mail: tighak65@gmail.com, kozlovnikolai@rambler.ru

Abstract. The article describes the main problems of urban drainage systems use, relevance of use of permeable concrete, main properties, production methods and problems of operation of the proposed coating.

Keywords: drainage concrete, water disposal, paving, permeable covering, asphalt concrete, concrete mix, water repellent

В современных городах при устройстве дорожных покрытий, тротуаров, автомобильных стоянок и пешеходных зон применяют дренажные системы, предотвращающие затопление улиц. В настоящее время водоотводящие системы большинства городов не справляются с потоками воды во время ливневых дождей в осенний и весенний периоды. Это приводит к целому ряду проблем: постепенное разрушение дорожных покрытий, загрязнение улиц, эрозия почвы, истощение грунтовых вод.

При строительстве дорог устройство дренажных систем требует дополнительного времени и финансовых средств. Чтобы обеспечить успешное предотвращение наводнений, необходимо организовывать ливневые канализации и устраивать покрытие с уклоном в сторону решеток сточной канализации. Для задержания и направления воды устанавливают бордюрные камни. Дренажи необходимо организовывать согласно заранее разработанному проекту. Линейные отводные каналы, решетки, дождеприемники являются дополнительными расходами при устройстве дорожных покрытий.

Современное состояние большинства городов России говорит о том, что используемые водоотводящие системы не справляются с предотвращением наводнений и сохранением улиц в чистом, первозданном виде после ливневых дождей. Это одна из основных проблем развития нового урбанизма. Ее целью и концепцией является создание комфортного городского пространства, удовлетворяющего потребности горожан при сохранении функции города как системы эффективного создания, распространения и приумножения ресурсов. Урбанизированное пространство представляет собой продукт исторического, социально-экономического, социокультурного, политического развития территории, где сосредоточились наиболее специализированные управленческие, научные, культурные, образовательные и предпринимательские ресурсы. В этом смысле городское пространство городов – уникальный объект, сочетающий в себе комплекс объектов, интересов и проблем, в том числе связанных с расширением объемов застройки и уменьшением площади естественной фильтрации дождевых и талых вод, которые приводят к подтоплению улиц. Одним из наиболее интересных решений проблемы затопления улиц в западных странах является проницаемый бетон [5].

Проницаемый (дренажный) бетон – это высокопористое покрытие, способное пропускать через себя свыше 200 литров воды в минуту на каждый квадратный метр площади.

В отличие от традиционных бетонов, структура дренажного бетона состоит из 15-20 % открытых сообщающихся пор. Бетонная смесь жесткая, с малым количеством цементного вяжущего и низким В/Ц. В качестве заполнителя применяется известковый, гранитный щебень крупной фракции. Наличие мелкого заполнителя сводится к минимуму, т. к. песок заполняет необходимые для водоотведения поры. Однако для увеличения прочностных характеристик допускается применение небольшого количества песка в составе бетонной смеси [1-3].

Британская компания Lafarge Tarmac представила свою разработку: Tormix Permeable concrete – проницаемый асфальтобетонный состав. Компания предлагает использовать состав в качестве дорожного покрытия на автомобильных дорогах. Дорожный пирог состоит из уплотненного грунта, 30 см щебня, 20 см песка и 10 см высокопористого асфальтобетонного покрытия. Основной проблемой предлагаемой технологии устройства дорожного полотна является долговечность. Для получения пористой структуры необходимо использовать небольшое количество цементного вяжущего [6].

Для применения проницаемого бетона необходимо создать условия эксплуатации, при которых нагрузка на покрытие будет минимальной, а вода, проникая в структуру бетона, не будет задерживаться, замерзать и разрушать материал. Для обеспечения минимальной нагрузки на покрытие целесообразно использовать данную технологию на тротуарах и

пешеходных зонах. Это позволит частично исключить необходимость устройства бордюров и постепенно ржавеющих металлических решеток, которые не соответствуют современным концепциям урбанистики.

Для лучшей проницаемости материала в составе бетонной смеси следует использовать гидрофобизирующие добавки, которые придают материалу «гидрофобность» и не задерживают воду на поверхности бетона [4]. Подготовленное основание под верхний проницаемый слой позволит дождевой воде, отфильтровываясь, проникать в почву. Во избежание застаивания воды следует принимать дополнительные меры по равномерному распределению воды под верхним проницаемым слоем покрытия. Перечисленные меры позволят увеличить срок службы проницаемого бетона.

Укладку дренажного покрытия необходимо организовывать таким образом, чтобы дальнейшая эксплуатация поверхности не доставляла дискомфорта для пешеходов. Смесь приготавливается на стационарных либо мобильных БСУ. Доставку бетонной смеси необходимо осуществлять автомобильным бетонным миксером. Далее смесь выгружается на заранее подготовленное основание и распределяется по всему участку. Для достижения наиболее ровной и гладкой поверхности с сохранением необходимой для водоотвода пористости предлагается выравнивать поверхность ручным катком. Для сохранения водопроницаемых свойств покрытие необходимо промывать водой в весенний и осенний период. Это позволит восстановить пропускную способность дренажного бетона.

Применение проницаемых покрытий поддерживают в национальном Агентстве по охране окружающей среды (EPA), в «Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)» – Руководство по энергоэффективному и экологическому проектированию. В современных условиях простая технология производства проницаемого бетона позволит частично заменить непроницаемый асфальтобетон, тротуарную плитку, сочетая в себе дорожное покрытие и пассивный водоотвод. Комбинирование активного водоотведения (сети ливневой канализации) с пассивным (применение проницаемых дорожных покрытий) позволит урбанистическим пространствам оставаться чистыми и ухоженными с сохранением интересов всех резидентов города.

Список литературы

1. Теннис П., Леминг М., Эйкерс, Д Проницаемый тротуарный бетон // Ассоциация портландцемента. 2004.
2. Бахманн Р. Новый опыт в разработке и применении проницаемых бетонных покрытий в Германии // Цемент и его применение. 2018.
3. Михалева С.А., Козлов Н.А., Мещеряков Д.В. Новое применение крупнозернистого бетона в дренирующих твердых дорожных покрытиях // Ресурсо-энергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2014. № 4.

4. Баженов Ю.М. Современная технология бетона // Строительное материаловедение – теория и практика: материалы Всероссийской научно-практической конференции. 2006. С. 13-17.

5. PERVIOUS CONCRETE PAVEMENTS // concretenetwork URL: <https://www.concretenetwork.com/pervious/> (дата обращения: 21.11.2019).

6. TOPMIX PERMEABLE The ultimate permeable concrete system // TARMAC URL: <https://www.tarmac.com/solutions/readymix/topmix-permeable/> (дата обращения: 12.11.2019).

УДК 691.332

МЕХАНОХИМИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННОЕ КОМПОЗИЦИОННОЕ ГИПСОВОЕ ВЯЖУЩЕЕ

Галаутдинов Альберт Радикович

Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Россия
e-mail: galautdinov89@mail.ru

***Аннотация.** Приводятся результаты экспериментальных исследований влияния комплексных химических добавок на формирование структуры материалов и изделий на основе композиционного гипсового вяжущего, а также влияние продолжительности механохимической активации исследуемого типа вяжущего на физико-технические свойства готовых изделий. Выявлено, что модифицирование композиционного гипсового вяжущего комплексной химической добавкой позволяет существенно улучшить показатели поровой структуры образцов на его основе. Кроме того, установлено, что при механохимической активации смеси в течение 5 минут наблюдается существенное повышение пределов прочности при изгибе и сжатии образцов композиционного гипсового камня: предел прочности при сжатии увеличивается на 28,9 %, при изгибе – на 61,4 %.*

***Ключевые слова:** композиционное гипсовое вяжущее, комплексная химическая добавка, пористость, механохимическая активация*

MECHANOCHEMICALLY ACTIVATED COMPOSITE GYPSUM BINDER

Galautdinov Albert Radikovich

Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia
e-mail: galautdinov89@mail.ru

***Abstract.** The article presents the results of experimental studies of the effect of complex chemical additives on the formation of the structure of materials based on a composite gypsum binder, as well as the influence of the duration of mechanochemical activation of the investigated type of binder on the physical and technical properties of finished products. It was revealed that modification of the composite gypsum binder with a complex chemical additive allows to significantly improve the pore structure of samples based on it. It was found that during the mechanochemical activation of the mixture for 5 minutes there was a significant increase in the bending and compression strength of samples of composite gypsum stone: the compression strength increased by 28,9 %, during bending – by 61,4 %.*

***Keywords:** composite gypsum binder, complex chemical additive, porosity, mechanochemical activation*

Введение

Важнейшими свойствами, которыми должны обладать производимые в настоящее время материалы и изделия, являются их биопозитивность, экологическая безопасность, высокие эксплуатационные показатели, доступность и распространенность сырьевых компонентов, а также возможность вовлечения вторичного сырья [1]. Данные требования обусловлены необходимостью повышения эффективности их производства, снижения трудоемкости и материалоемкости процессов развития материальной базы строительства, а также необходимостью решения вопросов рециркуляции промышленных отходов.

Одними из таких материалов и изделий являются композиты на основе гипсового и композиционного гипсового вяжущих, в том числе с применением низкомарочного гипса [2-4]. Их преимуществами по сравнению с аналогами являются широкое развитие минерально-сырьевой базы, относительно невысокая стоимость производства, а также биопозитивность. При этом следует отметить ряд недостатков данных материалов и изделий, таких как низкая водостойкость, высокие темпы начального структурообразования, затрудняющие процессы формования изделий, высокие внутренние напряжения при образовании гидросульфоалюмината кальция в гипсоцементных системах, приводящие в ряде случаев к существенному снижению прочностных показателей. Этим обусловлено ограничение области применения материалов и изделий на основе композиционного гипсового вяжущего.

Одним из традиционных способов повышения эксплуатационных свойств и долговечности изделий на основе композиционных вяжущих является их модификация химическими добавками, в том числе комплексными [5-8]. Другим эффективным способом повышения физико-механических характеристик изделий является механохимическая активация вяжущего [9-11]. В работах [12, 13] установлена эффективность применения гидромеханоактивации цемента, обусловленная существенным повышением пределов прочности при сжатии бетона, в том числе в ранние сроки твердения. При механохимической активации смеси механическое воздействие на частицы вяжущего приводит к образованию новых поверхностей и локальных дефектов различного характера, что обуславливает изменение структуры и свойств гидратных новообразований [14-16]. В этой связи повышение эксплуатационных свойств и долговечности изделий на основе композиционного гипсового вяжущего возможно путем рационального выбора способа и технологических параметров активации [17].

Материалы и методы исследований

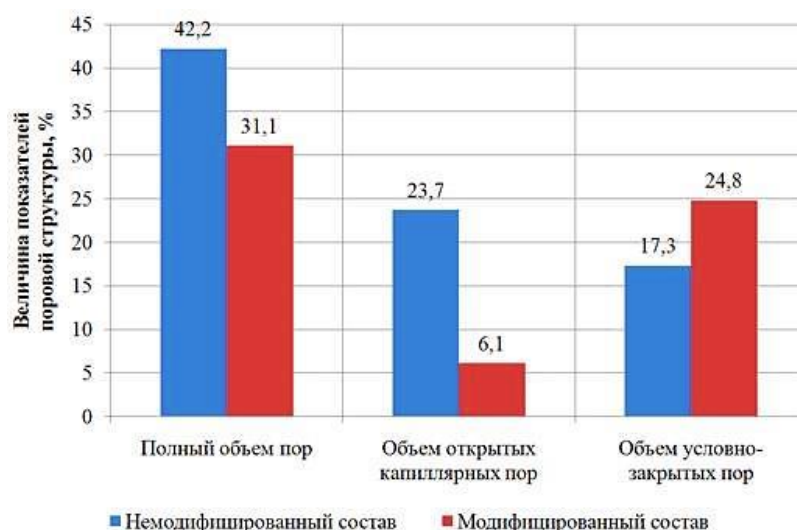
Для приготовления композиционного гипсового вяжущего при проведении экспериментальных исследований были использованы следующие материалы: гипс марки Г6БII производства ООО «Аракчинский

гипс»; портландцемент марки ПЦ500-Д0-Н Белгородского цементного завода; активная минеральная добавка – активированный метакраолин (метакраолин-А) [18-21]. В качестве компонентов комплексной химической добавки использовали суперпластификатор на основе эфиров карбоновых кислот «БЕСТ-ТБ» производства ООО «Инновационные Технологии»; пластификатор на карбоксилатной основе «Одолит-К» производства ООО «Сервис-Групп».

Пределы прочности композиционного гипсового камня определяли в соответствии с ГОСТ 23789-79. Показатели поровой структуры определяли в соответствии с ГОСТ 12730.4-78. Механохимическую активацию композиционного гипсового вяжущего осуществляли в роторно-пульсационном аппарате со скоростью вращения вала не менее 5000 об/мин в присутствии комплексной химической добавки.

Обсуждение результатов

Влияние комплексной химической добавки на показатели поровой структуры композиционного гипсового камня приведено на рисунке.



Влияние комплексной химической добавки на показатели поровой структуры композиционного гипсового камня

Согласно рис. 1 модифицирование композиционного гипсового вяжущего комплексной химической добавкой позволяет существенно улучшить показатели поровой структуры образцов на его основе. В модифицированных образцах наблюдается снижение полного объема пор на 11,1 %, снижение объема открытых капиллярных пор на 17,6 %, увеличение объема условно-закрытых пор на 7,5 %.

Результаты экспериментальных исследований влияния продолжительности механохимической активации композиционного гипсового вяжущего на относительные пределы прочности при сжатии и изгибе образцов камня на его основе приведены в таблице.

Влияние продолжительности механохимической активации
на относительные пределы прочности при сжатии
и изгибе образцов композиционного гипсового камня

Продолжительность механохимической активации	Относительные пределы прочности, %	
	при изгибе	при сжатии
Без активации	100	100
1 минута	123,32	150,29
3 минуты	124,86	155,46
5 минут	128,89	161,42
7 минут	129,54	159,9
9 минут	130,6	158,6

Анализ данных таблицы свидетельствует о существенном влиянии продолжительности механохимической активации смеси на основе композиционного гипсового вяжущего на показатели пределов прочности готовых образцов. При активации в течение 1 минуты наблюдается увеличение относительного предела прочности при сжатии образцов на 23,3 %, в течение 3 минут – на 24,9 %, в течение 5 минут – на 28,9 %, в течение 7 минут – на 29,5 %, в течение 9 минут – на 30,6 %. При активации в течение 1 минуты предел прочности при изгибе увеличивается на 50,3 %, в течение 3 минут – на 55,5 %, в течение 5 минут – на 61,4 %, в течение 7 минут – на 59,9 %, в течение 9 минут – на 58,6 %. Таким образом, при механохимической активации смеси в течение 5 минут наблюдается наибольшее повышение пределов прочности образцов композиционного гипсового камня. При большей продолжительности механохимической активации наблюдается незначительное увеличение пределов прочности при сжатии и снижение пределов прочности при изгибе.

Заключение

1. Выявлено положительное влияние комплексной химической добавки на показатели поровой структуры образцов композиционного гипсового камня. В модифицированных образцах наблюдается снижение полного объема пор на 11,1 %, снижение объема открытых капиллярных пор на 17,6 %, увеличение объема условно-закрытых пор на 7,5 %, что обусловлено формированием более плотной структуры камня.

2. Установлено, что при механохимической активации смеси в течение 5 минут наблюдается наибольшее повышение пределов прочности при изгибе и сжатии образцов композиционного гипсового камня: предел прочности при сжатии увеличивается на 28,9 %, при изгибе – на 61,4 %.

3. Таким образом, применение механохимической активации композиционного гипсового вяжущего позволит повысить эксплуатационные характеристики готовых изделий и расширить область их применения.

Список литературы

1. Получение гипсовых композитов, модифицированных отходом базальтового производства / Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Бурьянов А.Ф., Петропавловский К.С. // Строительные материалы. 2016. № 7. С. 13-15.
2. Разработка гипсоцементно-пуццоланового вяжущего на основе строительного гипса и отходов гипсового производства / Юнусова З.А., Полякова И.В., Асянова В.С., Бабков В.В., Ломакина Л.Н. // Проблемы строительного комплекса России: материалы XVI Международной научно-технической конференции. 2012. С. 34-37.
3. Изотов В.С., Мухаметрахимов Р.Х., Галаутдинов А.Р. Влияние полипропиленовых волокон на основные свойства гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // Вестник Технологического университета. 2015. Т. 18. № 1. С. 135-137.
4. Гайфуллин А.Р., Халиуллин М.И., Рахимов Р.З. Состав и структура камня композиционного гипсового вяжущего с известью и гибридной минеральной добавкой // Строительные материалы. 2014. № 7. С. 28-31.
5. Комплексная добавка: пат. 2519313 Рос. Федерация. № 2013103948/03; заявл. 29.01.2013; опубл. 10.06.2014. Бюл. № 16. 5 с.
6. Мухаметрахимов Р.Х., Изотов В.С. Фиброцементные плиты на основе модифицированного смешанного вяжущего // Известия КГАСУ. 2010. № 2. С. 250-254.
7. Рязанов Р.Р., Мухаметрахимов Р.Х., Изотов В.С. Дисперсно-армированные строительные композиционные материалы на основе гипсового вяжущего // Известия КГАСУ. 2011. № 3 (17). С. 145-149.
8. Галаутдинов А.Р., Мухаметрахимов Р.Х. Повышение водостойкости гипсоцементно-пуццоланового вяжущего на основе низкомарочного гипса // Известия КГАСУ. 2016. № 4 (38). С. 333-343.
9. Способ приготовления гипсоцементно-пуццолановой композиции: пат. 2552274 Рос. Федерация. №2014114815/03; заявл. 14.04.14; опубл. 10.06.15. Бюл. № 16. 7 с.
10. Пименов С.И. Влияние гидромеханохимической активации цемента на физико-технические свойства цементных композиций // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов. 2018. С. 108-114.
11. Pimenov S.I. Heavyweight concrete based on hydromechanochemically activated binder // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 890.
12. Селяев В.П., Низина Т.А., Балбакин А.В. Анализ влияния механоактивации на свойства цементных смесей с полифункциональными добавками // Вестник Волжского регионального отделения РААСН. 2014. № 17. С. 203-208.
13. Повышение гидравлической активности цемента методами спиновой химии / Афанасьев Д.А., Саркисов Ю.С., Горленко Н.П., Шепеленко Т.С., Цветков Н.А., Зубкова О.А., Шевченко М.Ю. // Фундаментальные исследования. 2017. № 7. С. 15-19.
14. Кузьмина В.П. Механохимия в бетоне. М.: Изд-во АСВ, 2013. С. 414.
15. Пименов С.И. Особенности структурообразования цементного камня после гидромеханохимической активации цемента // Научный журнал строительства и архитектуры. 2019. № 2(54). С. 77-88.
16. Pimenov S.I. Features of the structure formation of a cement stone after hydromechanochemical activation of cement // Russian journal of building construction and architecture. № 3(43). 2019. P. 46-58.
17. Сучков В.П. Механохимическая активация в технологии переработки гипсового сырья // Градостроительство и архитектура. 2011. № 4. С. 82-86.
18. Abdul Rahim Z., Srinivasa Rao P. Effect of Incorporating Metakaolin As Mineral Admixture and Crimped Fibres on Properties of High Strength Concrete // 7th RILEM International Symposium on Fibre Reinforced Concrete. 2008. Vol. 1. P. 155-161.

19. Chen Y.L., You W.L. The composite effect of mineral additives to the performances of Concrete // Proceedings of the 12th International Congress on the Chemistry of Cement. Montreal. 2007. P. 289-301.

20. Мухаметрахимов Р.Х., Галаутдинов А.Р. Роль активных минеральных добавок природного происхождения в формировании структуры и свойств гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // Вестник Технологического университета. 2017. № 6. С. 60-63.

21. Мухаметрахимов Р.Х., Галаутдинов А.Р. Гипсоцементно-пуццолановое вяжущее на основе низкомарочного сырья и отходов промышленности // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 24. С. 56-59.

УДК 699.81

РАЗРАБОТКА ОГНЕСТОЙКОЙ ПЕРЕГОРОДКИ

Евстигнеева Юлия Вячеславовна

Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Россия
e-mail: uliyaevstigneeva@mail.ru

***Аннотация.** Предложено применение СМЛ в качестве гибкой перегородки. В качестве обшивки для гибкой перегородки принимаются стекломagneзитовые листы, скрепляемые с помощью тонкостенного коробчатого профиля, устанавливаемого с шагом 1 м, при этом крепление листов к профилю осуществляется с помощью саморезов, пространство между профилями заполняется шумопоглощающим материалом. Таким образом, предлагаемое изобретение позволяет повысить звукоизоляцию, огнестойкость и снизить массу перегородки.*

***Ключевые слова:** стекломagneзитовый лист, перегородка, огнестойкость*

FIRE PARTITION DEVELOPMENT

Evstigneeva Yuliya Vyacheslavovna

Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia
e-mail: uliyaevstigneeva@mail.ru

***Abstract.** The use of glass-magnesite sheets (GMS) as a flexible partition is proposed. Glass- magnesite sheets fastened with a thin-walled boxed profile, set with a step of 1 m, are taken as sheathing for a flexible partition, while the sheets are attached to the profile using self-cuts, the space between the profiles is filled with a noise-absorbing material. Thus, the proposed invention can increase soundproofing, fire resistance and reduce the mass of the partition.*

***Keywords:** glass-magnesite sheet, partition, fire resistance*

Актуальность работы по изучению огнестойких строительных материалов значительно возросла после трагических событий последних лет, в ТЦ «Адмирал» в Казани в 2015 г, в ТРК «Зимняя вишня» в Кемерово в 2018 г.), которые привели к многочисленным жертвам. Таким материалом может выступить огнестойкий облицовочный материал стекломagneзитовый лист (СМЛ). Стеклomagnezитовый лист представляет собой плиту толщиной до 2

см белого, серого или с синевой цветов и разными сторонами – гладкой «лицевой» и рельефной «оборотной» [1]. СМЛ должны соответствовать требованиям ТУ 5742-002-54664144-2011 «Стекломагниевого листа. Технические условия» [2].

Одним из главных преимуществ СМЛ является его экологическая безопасность, то есть этот материал не представляет угрозы для окружающей среды и здоровья человека. Плиты, изготовленные из магнезита и обладающие целым рядом преимуществ [3], сегодня уверенно вытесняют своих «собратей»: ДСП, МДФ, ГКЛ, ГВЛ, OSB.

Магнезит придает изделиям, изготовленным на его основе [4], массу достоинств, среди которых наиболее востребованным являются огнестойкость (специальные составы выдерживают температуру до 2000°C) [5]. СМЛ разрешено применять для строительства всех типов зданий по категориям пожарной опасности. Именно поэтому такой материал рекомендован к использованию во время строительства домов отдыха, детских учреждений, больниц, санаториев и высококлассных гостиничных комплексов и т. п.

Однако сегодня в строительстве зачастую путают термины горючесть и огнестойкость строительных материалов [6-7].

Горючесть – способность вещества (материал, смеси) к самостоятельному горению. По горючести вещества и материалы делятся на горючие, трудногорючие и негорючие.

Согласно ГОСТ 30244-94 [8] строительные материалы относят к негорючим при следующих значениях параметров горючести:

- прирост температуры в печи не более 50°C;
- потеря массы образца не более 50 %;
- продолжительность устойчивого пламенного горения не более 10 с.

Строительные материалы, не удовлетворяющие хотя бы одному из указанных значений параметров, относят к горючим [9].

Сегодня в строительстве нет ни одного листового отделочного материала, сравнимого с СМЛ в плане пожарной безопасности [10]. При толщине листа в 6 мм он способен удерживать огонь в течение двух часов, а в целом выдерживает нагрев до 1200°C.

Огнестойкость – способность строительных конструкций ограничивать распространение огня, а также сохранять необходимые эксплуатационные качества при высоких температурах в условиях пожара. Характеризуется пределами огнестойкости и распространения огня.

Пределы огнестойкости строительных конструкций определяются путем их огневых испытаний по стандартной методике и выражаются временем (в часах или минутах) действия на конструкцию стандартного пожара до достижения ею одного из следующих предельных состояний:

1. Потери несущей способности (обрушение или прогиб) при проектной схеме опирания и действии нормативной нагрузки – постоянной

от собственного веса конструкции и временной, длительной, от веса стационарного оборудования (станков, аппаратов и машин, электродвигателей и др.).

2. Повышения температуры необогреваемой поверхности в среднем более чем на 160°C или в любой ее точке более чем на 190°C в сравнении с начальной температурой либо более 220°C независимо от температуры конструкции до испытаний.

3. Образования в конструкции сквозных трещин или отверстий, через которые проникают продукты горения или пламя.

4. Достижения при испытаниях ненагруженной конструкции критической температуры (то есть температуры, при которой происходят необратимые изменения физико-механических свойств) ее несущих элементов или частей, защищенных огнезащитными покрытиями и облицовками; характеризует потерю несущей способности.

Данные о пределах огнестойкости и распространении огня используют при проектировании зданий и сооружений [11]. Последние, согласно нормативным документам, разделены по степени огнестойкости на пять групп.

Для них установлены требуемые пределы огнестойкости (минимальные) и распространения огня (максимальные) основных строительных конструкций. В зависимости от их вида указанные пределы огнестойкости изменяются от 0,25 до 2,5 ч, пределы распространения огня – от 0 до 40 см. Повышение огнестойкости достигается методами огнезащиты.

Нами в данной статье предлагается использование стекломагнезитового листа с целью повышение класса огнестойкости разработанной перегородки по патенту [12]. Данная конструкция применима в зданиях, к которым предъявляются повышенные требования по защите и отделке незадымляемых помещений (детсады, школы, больницы).

Описанный в полученном патенте результат достигается тем, что в качестве обшивки для предлагаемой перегородки принимаются стекломагнезитовые листы, скрепляемые с помощью тонкостенного коробчатого профиля, устанавливаемого с шагом 1 м, при этом крепление листов к профилю осуществляется с помощью саморезов с расстоянием между ними 150 мм, пространство между профилями заполняется шумопоглощающим материалом толщиной 50 мм (рис. 1).

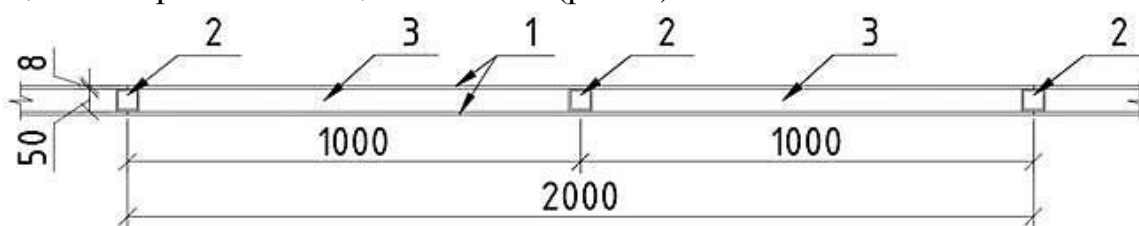


Рис. 1. Гибкая перегородка-вид сверху, состоящей из следующих элементов: 1 – стекломагнезитовый лист размером $2000 \times 1200 \times 8$ мм, 2 – металлический профиль 50×50 мм, 3 – звукоизолирующий материал толщиной 50 мм

В качестве обшивки возможно применение стекломгнезитового листа, выпускаемого по ТУ 5742-001-68786058-2011 [2]. Длина таких листов может быть 2000-4000 мм, ширина – 600-1200 мм, толщина – 6-12 мм, коэффициент звукоизоляции 44-50 дБ, относится к группе негорючих материалов по ГОСТ 30244-94 [8]. В качестве звукоизолирующего материала возможно использование акустических плит ШУМАНЕТ-БМ, ШУМАНЕТ-СК, ШУМАНЕТ-ЭКО, согласно ГОСТ 23499-2009 [13].

В качестве тонкостенного коробчатого профиля возможно использование металлического профиля квадратного сечения по ГОСТ 30245-2003 [14], с размерами 50 × 50 мм и высотой, равной высоте листа.

Гибкость перегородки достигается использованием в качестве обшивки листов СМЛ, при этом после сборки перегородке можно придать криволинейную форму радиусом кривизны до 3 м путем сгибания листов (рис. 2).

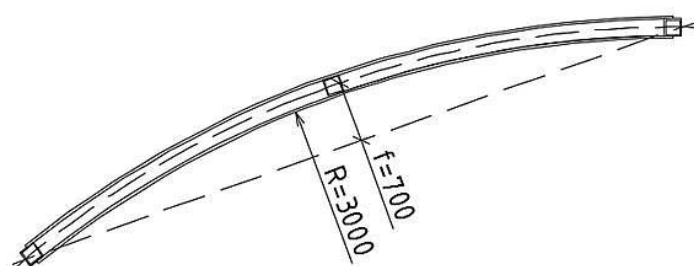


Рис. 2. Криволинейная форма вид сверху, с радиусом кривизны листа 3 м. Величина отклонения гибкого стекломгнезитового листа от прямолинейного положения составила $f = 700$ мм

Сборка перегородки осуществляется следующим способом. Стекломгнезитовый лист размером 2000 × 1200 × 8 мм устанавливается вертикально на место монтажа, далее последовательно с помощью саморезов с шагом 150 мм крепится металлический профиль, устанавливаемый с шагом 1 м (рис. 3).

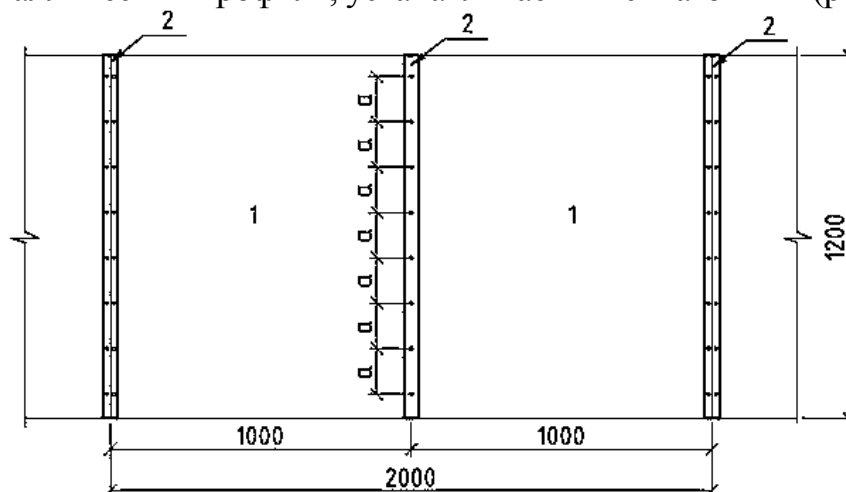


Рис. 3. Конструкция на этапе сборки, где: 1 – стекломгнезитовый лист размером 2000 × 1200 × 8 мм, 2 – металлический профиль 50 × 50 мм.

Шаг саморезов, осуществляющих крепление листа к металлическому профилю, составляет $a = 150$ мм

После этого устанавливается звукоизолирующий материал между направляющими профилями и закрывается вторым листом обшивки с помощью саморезов с соблюдением указанного шага их крепления (рис. 4).

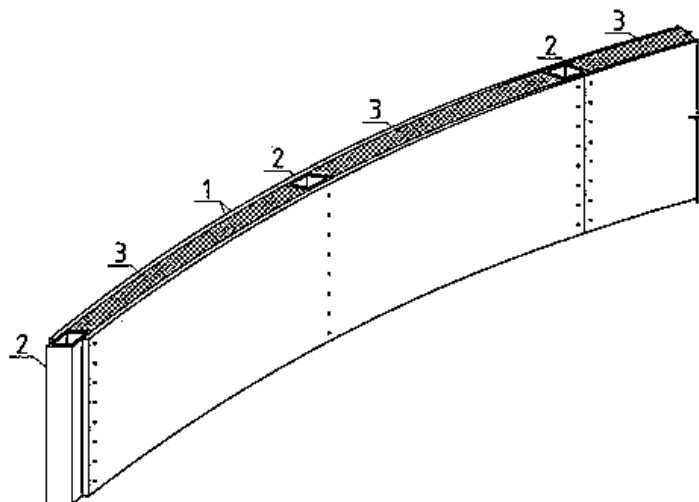


Рис. 4. Собранная конструкция гибкой перегородки:

1 – стекломагнетитовый лист размером $2000 \times 1200 \times 8$ мм, 2 – металлический профиль 50×50 мм, 3 – звукоизолирующий материал толщиной 50 мм

Список литературы

1. Ажикина Н.В. Стекломагнетит – новый облицовочный материал // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 1 (11). С. 32-37.
2. ТУ 5742002-54664144-2011. Стекломагнетитовые листы. Технические условия.
3. СМЛ: характеристики, сравнение и область применения / Болтенко А.С., Рязанцев М.Н., Богданов П.А., Ковач И.А. // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 10 (37). С. 22-33.
4. Крамар Л.Я. Теоретические основы и технология магнетитовых вяжущих и материалов: автореф. дис...д-ра техн. наук. Челябинск, 2007. 335 с.
5. Ibragimov R.A., Korolev E.V., Deberdeev T.R., Leksin V.V., Solovlev D.B. Energy parameters of the binder during activation in the vortex layer apparatus. Materials Science Forum. 2018. T. 945 MSF. С. 98-103.
6. Ibragimov R.A., Bogdanov R.R. The influence of a complex modifying agent on the hydration and structure formation of self-compacting concrete. ZKG International. 2017. T. 70. № 4. С. 44-49.
7. Богданов Р.Р., Ибрагимов Р.А., Изотов В.С. Исследование влияния супер и гиперпластификаторов на основные свойства цементного теста. Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. № 2 (24). С. 221-225.
8. ГОСТ 30244-94 «Материалы строительные методы испытаний на горючесть».
9. Изотов В.С., Ибрагимов Р.А. Ресурсосбережение при производстве железобетонных изделий с добавками гиперпластификаторов // Технологии бетонов. 2013. № 5 (82). С. 40-41.
10. Evstigneeva Yu.V., Ibragimov R.A. Construction technology of fixed formwork and quality control // International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering 890 (2020) 012131.

11. СНиП 21-01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений».
12. Пат. № 198477 Российская Федерация. Гибкая перегородка / Ибрагимов Р.А., Евстигнеева Ю.В., Хузиахметов Р.Х. опублик. 13.07.2020. Бюл. № 20. 6 с.
13. ГОСТ 23499-2009. Материалы и изделия звукоизоляционные и звукопоглощающие строительные. Общие технические условия.
14. ГОСТ 30245-2003. Профили стальные гнутые замкнутые сварные квадратные и прямоугольные для строительных конструкций.

УДК 625.856

ОЦЕНКА РОЛИ АКТИВНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ В ФОРМИРОВАНИИ СТРУКТУРЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Иващенко Юрий Григорьевич,
Мамешов Раман Тайрович, Кочергина Мария Петровна**
*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., Россия*
e-mail: psk@sstu.ru, mascara.t@list.ru, m-kochergina@list.ru

***Аннотация.** Минеральные добавки в цементе – составляющая часть, создающая целый ряд направленных воздействий в структурообразовании и формировании свойств сложноорганизованных неравновесных физико-химических твердеющих систем. Модифицирование минеральными добавками, ПАВ как технологический прием позволяет формировать структуру цементного камня с новыми строительно-техническими свойствами строительных материалов.*

***Ключевые слова:** минеральная добавка, ПАВ, клинкер, портландцемент, активные поверхностные центры, свойства цементных систем*

ASSESSMENT OF THE ROLE OF ACTIVE MINERAL FILLERS IN THE FORMATION OF THE STRUCTURE OF COMPOSITE BUILDING MATERIALS

**Ivaschenko Yuri Grigorevich,
Mameshov Roman Tayrovich, Kochergina Maria Petrovna**
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia
e-mail: psk@sstu.ru, mascara.t@list.ru, m-kochergina@list.ru

***Abstract.** Mineral additives in cement are a constituent part of creating a number of directed influences in the formation of structure and the formation of properties of complexly organized non-weighty physicochemical hardening systems. Modification with mineral additives, surfactants, as a technological method, makes it possible to form the structure of a cement stone with new construction and technical properties of building materials.*

***Keywords:** mineral additive, surfactant, clinker, Portland cement, active surface centers, properties of cement systems*

Минеральная добавка в составе цементов, как показывает отечественный и зарубежный опыт, представляет собой составляющую, которая создает многообразие и специфичность строительно-технических свойств, как смешанных, так и многокомпонентных вяжущих.

К смешанным цементам относят композиции, содержащие активные минеральные добавки (АМД) способные к кислотно-основному взаимодействию с гидроксидом кальция. Многокомпонентные вяжущие гидратационного твердения содержат до 30-50 % минеральных добавок сходных по химико-минералогическому составу с вяжущей матрицей, в ряде случаев обладающих окислительно-восстановительным потенциалом, влияющим на кинетику твердения.

Клинкерные минералы являются широкозонными полупроводниками, обусловленными наличием неравновесных носителей заряда. Регистрируемые методом люминесценции (ТСЛ) центры ортосиликатов кальция имеют электронную структуру и природу $Si - O - Ca - i - M - O - Si$. Проведенная оценка гидратационной активности C_3S и C_2S методом дифференциальной микрокалориметрии показала связь параметров спектров ТСЛ с параметрами кинетики гидратации.

В портландских клинкерах: в алите C_3S – было определено (приводятся максимальные значения) до 0,3 масс.% – Na_2O , до 0,6 – K_2O , до 2,1 – MgO , до 1,6 – Al_2O_3 , до 1,7 – Fe_2O_3 , до 0,2 – TiO_2 , до 0,15 – SO_3 . В белите – Na_2O – до 0,7 масс.%; K_2O – до 3,5; MgO – до 1,3; Al_2O_3 – до 2,2; Fe_2O_3 – до 2,1; TiO_2 – до 0,5; SO_3 – до 0,7. В алюмоферритовой фазе – Na_2O – 0,3; K_2O – 0,9; MgO – до 3,6; SiO_2 – до 5,0; TiO_2 – до 2,0; SO_3 – до 0,1 масс. %.

Микрорентгеноспектральным анализом показано, что в алюминатной фазе, как правило, повышенное содержание Fe_2O_3 , а в ряде случаев – и SiO_2 . Щелочные катионы Na^+ , K^+ в наибольшем количестве находятся в твердом растворе алюминатной фазы.

Гидратация клинкерных минералов и цемента в начальных стадиях определяет характер последующих процессов твердения цементного камня. Установлено, что в начальный момент гидратации поверхность исходного C_3S обогащена ионами Si .

Первичные продукты гидратации имеют низкую величину соотношения Ca/Si , которая возрастает, а затем снова снижается до значения 1,6 после 1-3 часов гидратации. Анализ поверхности частиц алита и продуктов его гидратации позволил определить отношение $(Ca+Mg/Si)$, Si/O .

Аналогичные исследования проведены для минералов CS , C_3S , C_2S . Формирование структуры цементного камня является сложным процессом, протекающим в неоднородной и постоянно изменяющейся среде гетерофазных реакций.

Прочность структуры в значительной мере определяется кинетикой пересыщения жидкой фазой относительно кристаллизующихся из нее гид-

ратных новообразований. Это влияет на структуру и морфологию кристаллогидратов, их стабильность, а также определяет образование сростков минералов.

Максимальными прочностными показателями обладает структура вяжущего, сформированная в условиях устойчивых пересыщений жидкой фазы, когда кристаллический каркас состоит из стабильных волокнистых или игольчатых гидросиликатов кальция, объединенных в прочные кристаллические сростки и упрочненных микрокристаллическим гелем, и кристаллизация гидратных новообразований происходит в капиллярном пространстве между зернами (частицами) цемента. Рост концентрации поверхностных центров различной природы и силы в период от 12 до 24 ч. характеризуемый диффузионной кинетикой, обусловлен дальнейшим развитием процесса гидратации и связанным с этим увеличением удельной поверхности гидратных фаз.

Управление составом и концентрацией активных центров осуществляется модифицированием поверхности дисперсных наполнителей физико-химическими или технологическими способами. Одним из приемов является модифицирование обработкой наполнителей в растворах поверхностно-активных веществ различных классов.

Введение в твердеющую систему «цемент-вода» минеральных наполнителей, наноструктурируемых добавок, поверхностно-активных веществ (пластификаторов) является эффективным способом регулирования и уплотнения структуры гидратов.

Минеральные добавки в цемент, обладающие способностью к участию в процессах формирования структуры цементного теста и камня, обладают кислотно-основными свойствами поверхности. Классификация минеральных наполнителей в композиционном материаловедении по отношению к вяжущей матрице предусматривает деление их на активные и малоактивные. Многими исследователями такое деление признается условным и рассматривается для конкретных вяжущих матриц. Одним из основных показателей активности считается пуццолановая активность наполнителей. Величину рН-значений водных вытяжек используют в качестве единой шкалы кислых и основных сред. Калориметрические данные позволяют получить информацию в системе «твердое тело-жидкость-газ».

Сложность химико-минералогического состава горных пород, твердых техногенных отходов, различие их кристаллизационного строения уже на стадии получения наполнителей проявляются в их индивидуальности, что сказывается на гранулометрическом составе, дисперсности частиц, степени фильности поверхности и др. Одной из характеристик горных породообразующих минералов является химико-минералогический состав.

Результаты исследований наполненных цементных матриц позволяют сделать вывод, что оптимум наполнения определяется химико-минералогическим составом и составляет (в % к массе цемента): для кварцевого наполнителя – 15; диатомита – 25; термолита – 20-22; опоки – 20; ферросилиция – 8-10; золы-уноса – 10-40; цеолитов – 20; шлака – 40-60; известняка – 40-42.

Основным результатом эффекта применения наполнителей+ПАВ следует считать возможность снижения расхода вяжущего, в широких пределах регулировать прочностные и деформационные свойства и повысить долговечность материалов.

Одним из современных направлений получения высококачественных бетонов является применение комплексных органоминеральных добавок (ОМД), включающих органические и минеральные компоненты.

Практикой доказаны преимущества широкого применения кремнеземсодержащих добавок (опоки, диатомиты, трепела), микрокремнеземистых продуктов ферросплавных производств, добавок алюмосиликатного состава (доменные, электротермофосфорные шлаки, сухие золы-уноса ТЭЦ, отработанные формовочные массы и др.) одним из условий рационального использования минерально-сырьевой базы, улучшения технико-экономических показателей строительного комплекса является принцип региональности производства и применения строительных материалов и изделий.

Учитывая логистические схемы, приобретает значение применение в качестве активной минеральной добавки термообработанных при относительно низких температурах бентонитовых глин, в том числе и отходов обогащения горных сланцев.

Перспектива в улучшении качественных показателей строительных материалов состоит в развитии методологических основ получения материалов с заданными свойствами.

Список литературы

1. Бойкова А.И., Есаян А.К., Лазуткин В.Б. Распределение примесей по минералам промышленных клинкеров. Цемент. 1980. № 1. С. 10-12.
2. Гимашев В.В., Акимов В.Т. Определение концентрации точечных дефектов в твердых растворах трехкальциевого силиката // Тезисы докладов Всесоюзного симпозиума по кристаллохимии и фазовым соотношениям в силикатных и оксидных системах. – Л.: Наука, 1978. С. 30-33.
3. Сватовская Л.Б., Сычев М.М. Активированное твердение цементов. Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1983. 160 с.
4. Гранковский И.Г. структурообразование в минеральных вяжущих системах. Киев: Наукова думка, 1984. 300 с.
5. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: АСВ, 2006. 368 с.
6. Куприяшкина Л.И. Наполненные цементные композиты. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2007. 180 с.

7. Шейкин А.Е., Чеховский Ю.В., Бруссер М.И. Структура и свойства цементных бетонов. М.: Стройиздат, 1979. 344 с.
8. Мчедлов-Петросян О.П. Химия неорганических строительных материалов. М. Стройиздат, 1971. 224 с.
9. Шпынова Л.Г., Чиж В.И., Сеницкий М.А. и др. Физико-химические основы формирования структуры цементного камня. Львов: Виша шк., 1981. 150 с.
10. О роли активности минеральных наполнителей в системно-структурных концепциях конструирования композиционных строительных материалов / Иващенко Ю.Г., Страхов А.В., Тимохин Д.К. и др. // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций. Материалы Всероссийской научно-технической конференции. Саранск: Изд-во Мордов. гос. ун-та, 2018. С. 61-67.

УДК 691-4

СИСТЕМНО-СТРУКТУРНЫЙ ПОДХОД В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ МАТЕРИАЛОВ ПОЛИСТРУКТУРНОГО СТРОЕНИЯ

**Иващенко Юрий Григорьевич,
Мамешов Раман Тайрович, Павлова Ирина Леонидовна**
*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., Россия*
e-mail: psk@sstu.ru, mascara.t@list.ru, pavlovail29@mail.ru

***Аннотация.** Современные технологии производства строительных материалов с заданными свойствами и качественными показателями должны базироваться на объективных методологических основах управления по схеме «состав-структура-свойства» сложноорганизованных материальных систем.*

***Ключевые слова:** композит, цементный бетон, гетерогенность, гетерофазность, структурообразование, сложносоставленные системы*

SYSTEM-STRUCTURAL APPROACH TO MANAGING THE QUALITY OF MATERIALS OF POLYSTRUCTURAL STRUCTURE

**Ivaschenko Yuri Grigorevich, Mameshov Roman Tayrovich,
Pavlova Irina Leonidovna**
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia
e-mail: psk@sstu.ru, mascara.t@list.ru, pavlovail29@mail.ru

***Abstract.** Modern technologies for the production of building materials with specified properties and quality indicators should be based on objective methodological foundations of management according to the «composition-structure-properties» scheme of complex material systems.*

***Keywords:** composite, cement concrete, heterogeneity, heterophase, structure formation, complex systems*

По статистическим данным, в реальном секторе экономики страны строительный комплекс составляет 6,0 % ВВП. В 2020 году введено в эксплуатацию около 80,0 млн. м² жилья, а 2024 планируется ввести 120 млн. м². В этой комплексной задаче повышения эффективности производства строительных материалов является актуальным и приоритетным направлением создание новых, усовершенствованных технологий производства. Ресурсоэнергосберегающие технологии должны занять определяющую роль в снижении материалоемкости и повышения качественных показателей продукции строительной индустрии, поскольку в этом направлении еще много нерешенных задач.

Современные тенденции производства функциональных строительных материалов сформировались в первой половине XX века и в настоящее время получили развитие теоретических основ создания банка экспериментальных данных, накопленного опыта масштабного внедрения разработок. Современное материаловедение как междисциплинарная наука о связях реальной структуры материала с его физико-механическими, эксплуатационными свойствами развивается в фундаментальном и прикладном направлениях.

Эволюция цементного бетона, одного из масштабных по применению строительных материалов, прошла через этап рассмотрения материала с конгломератной грубогетерогенной структурой до создания системно-структурной концепции конструирования композиционных строительных материалов как сложноорганизованных материальных систем. Материальную систему можно определить как совокупность структурных элементов, связанных между собой физико-химическими связями. Методологической основой для решения этих задач является подход, при котором объект исследования рассматривается в виде взаимосвязанных и взаимодействующих между собой структурных элементов материальной системы. Качественно новым этапом в развитии единой теории структурообразования и формирования свойств композиционных материалов, а также технологии их изготовления является полиструктурная теория, в которой систематизированы многоуровневая архитектура строения, процессы структурной организации материалов с учетом основных структурообразующих факторов и технологических процессов.

С позиции качественно-количественного анализа взаимосвязей структурных характеристик, технологических параметров, физико-механических свойств композиционные строительные материалы представляются как сложноорганизованные материальные системы типа «структура в структуре».

Многоуровневый принцип организации структуры композиционного материала определяет выделение в единой структуре многих взаимозависимых структур от атомно-молекулярного уровня до грубых составных структур цельных строительных элементов.

Гетерогенность и гетерофазность строительных материалов, наличие границ раздела между отдельными компонентами или фазами и различие свойств готового материала и свойств его исходных составляющих позволяют представить строительные материалы как композиционные различного функционального назначения.

Композиционным строительным материалам присущи следующие основные признаки композитов: многокомпонентность с различными сочетаниями компонентов по виду, размеру и количеству; наличие различных фаз; образование и развитие поверхностей раздела между структурными составляющими любого масштабного уровня; различие физико-технических характеристик готового материала и свойств исходных компонентов; возможность предсказания свойств готового материала по индивидуальным свойствам и взаимодействиям компонентов; целенаправленное конструирование составов и режимов технологической переработки в зависимости от требуемых показателей качества конечного продукта.

Рассмотрим структуру композиционных строительных материалов на примере цементного бетона. При этом выделим следующие структурные неоднородности: цементный камень, растворная часть, бетон.

Минеральные вяжущие образуют сложные по характеру и по качественному составу структуры и системы с характерными для композиционных материалов гетерогенностью, наличием поверхностей раздела между реликтовыми зёрнами и продуктами новообразований, между самими зёрнами, между отдельными минералами и т. п., различием свойств затвердевшего цементного камня (микробетона по Юнгу) и свойств исходных составляющих.

Растворные смеси и растворная часть бетона представляют собой многокомпонентные сложносоставленные системы с развитой внутренней поверхностью раздела. Подобные системы можно рассматривать как матричные композиционные материалы, в которых в качестве матрицы служит цементный камень, а в качестве включений – зёрна мелкого заполнителя.

Свойства растворов определяются их составом, условиями приготовления, формования и твердения и отличаются от свойств исходных компонентов.

Бетоны можно представить как матричные композиты, состоящие из матрицы (растворная часть), в которой распределены крупные заполнители. Внутренние поверхности раздела на различных уровнях структурных неоднородностей формируются как под действием физико-химических реакций, так и под влиянием физико-механических взаимодействий. Физико-технические свойства бетонов определяются не только свойствами исходных компонентов, но и технологическими режимами их получения. При

этом бетоны могут приобретать совершенно новые свойства, отличные от свойств составляющих компонентов.

Таким образом, по выделенным для композиционных материалов признакам цементный камень, раствор и бетон представляют собой как каждый в отдельности, так и при их соединении типичные композиты. Следует учесть, что и сами компоненты являются полиминеральными и гетерогенными композитами, например зерна цемента, естественные и искусственные заполнители.

Поэтому при рассмотрении композиционных строительных материалов их целесообразно представлять как сложносоставленные системы, организованные по принципу «структура в структуре» или «композит в композите».

Список литературы

1. Соломатов В.И., Выровой В.Н., Бобрышев А.Н. и др. Полиструктурная теория композиционных строительных материалов. Ташкент: ФАН, 1991. 342 с.
2. Селяев В.П., Иващенко Ю.Г., Низина Т.А. Полимербетоны: монография. Саранск: Изд-во Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева. 2016. 281 с.
3. Чернышов Е.М. Формула «4С» («состав – структура – состояние – свойства») в концептуально-методологической парадигме современного системного материаловедения / Е.М. Чернышов // Строительные материалы – 4С: состав – структура – состояние – свойства: Междунар. сб. науч. трудов. Новосибирск, 2015. С. 5-12.
4. Баженов Ю.М. Конструирование структур современных бетонов: определяющие принципы и технологические платформы / Ю.М. Баженов, Е.М. Чернышов, Д.Н. Коротких // Строительные материалы. 2014. № 3. С. 6-14.
5. Иващенко Ю.Г., Павлова И.Л., Решетов В.А. Основы методологических принципов развития системно-структурных концепций конструирования композиционных строительных материалов // Сборник докладов Международной научно-практической конференции. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова. 2007. С. 81-85.

УДК 625.856

РЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫЕ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕФТЯНОГО ШЛАМА

Ильина Ольга Николаевна

Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Россия
e-mail: ilinaon@inbox.ru

***Аннотация.** Комплексное освоение вторичных ресурсов углеводородного сырья в дорожно-строительных материалах является ресурсоэффективной технологией и позволяет сделать цикл переработки нефтяных шламов полностью завершенным. Результаты экспериментальных исследований дорожно-строительных материалов с применением нефтяного шлама определили соответствие их показателей нормативным значениям ГОСТ 30491. Разработана и внедрена технологическая схема под-*

готовки нефтяного шлама для обеспечения его однородности по составу и свойствам. Разработаны Технические условия на подготовленный нефтяной шлам для применения в конструкциях дорожных одежд автомобильных дорог ТУ 19.20-001-59304681-2019. Разработана и внедрена технологическая схема строительства слоев оснований автомобильных дорог методом «смешения на дороге» с ведущим механизмом – ресайклером с применением серийно выпускаемых дорожно-строительных машин и механизмов. Опытно-производственное внедрение результатов исследований осуществлено на 4 экспериментальных участках автомобильных дорог.

Ключевые слова: дорожно-строительные материалы, нефтяной шлам, ресурсоэффективная технология, ресайклер, автомобильные дороги

RESOURCE-EFFICIENT ROAD BUILDING MATERIALS AND TECHNOLOGIES USING OIL SLUDGE

Irina Olga Nikolaevna

Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia

e-mail: ilinaon@inbox.ru

Abstract. *Integrated development of secondary resources of hydrocarbon raw materials in road building materials is a resource-efficient technology and makes it possible to complete the oil sludge processing cycle. The results of experimental studies of road-building materials using oil sludge determined the compliance of their indicators with the standard values of GOST 30491. A technological scheme for the preparation of oil sludge was developed and implemented to ensure its homogeneity in composition and properties. Technical conditions for prepared oil sludge for use in the construction of road pavements of highways TU 19.20-001-59304681-2019 have been developed. A technological scheme for the construction of road base layers by the «mixing on the road» method with a leading mechanism – a recycler using commercially available road-building machines and mechanisms was developed and implemented. Pilot-production implementation of the research results was carried out on 4 experimental sections of highways.*

Keywords: *road building materials, oil sludge, resource-efficient technology, recycler, highways*

Комплексное освоение вторичных ресурсов углеводородного сырья с учетом роста экологических требований, рационального природопользования и снижения уровня содержания целевых природных компонентов в дорожно-строительных материалах приобретает актуальное значение в настоящее время. Использование вторичных ресурсов углеводородного сырья – нефтяных шламов следует рассматривать при получении композиционных дорожно-строительных материалов для устройства слоев дорожных одежд. Нефтяные шламы имеют довольно широкий спектр состава и физико-механических характеристик. Входящие в состав нефтяных шламов смолы, парафины и другие высокомолекулярные соединения обладают поверхностно-активными и вяжущими свойствами. Именно эту особенность нефтяных шламов актуально использовать для дорожно-строительных материалов. Накопление нефтяных шламов происходит при добыче нефти и работе с нефтяными месторождениями, сбросах нефти при подготовке месторожде-

ний к дальнейшей разработке, при чистке резервуаров, нефтесодержащих промывочных жидкостей, которые используют при буровых работах, а также при капитальном ремонте. Большая часть таких отходов хранится в прудах-накопителях, которые, в свою очередь, занимают огромные территории, загрязняя атмосферу, грунтовые воды, почву, нанося вред окружающей среде. Нефтяные шламы, представляя собой вторичное сырье, использование которого возможно после специальной подготовки, уменьшают нагрузку на окружающую среду и позволяют рационально применять природные минеральные материалы, что также снижает затраты на строительство дорог.

Экспериментальные исследования дорожно-строительных материалов с применением нефтяного шлама проводились в соответствии ГОСТ 30491 «Смеси органоминеральные и грунты, укрепленные органическими и комплексными вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства» [1]. На этапе поисковых работ исследовались и оптимизировались составы разрабатываемых материалов, а также устанавливались оптимальные пределы варьирования факторов, отработка методики, обеспечивающей требуемую надежность результатов. Изготовление, хранение и испытание образцов органоминеральных смесей с применением нефтяного шлама проводили в соответствии с ГОСТ 12801 [2]. Результаты экспериментальных исследований дорожно-строительных материалов с применением нефтяного шлама [3] определили соответствие их показателей нормативным значениям ГОСТ 30491. Анализ полученных данных показывает, что комплексное освоение вторичных ресурсов углеводородного сырья Республики Татарстан позволяет получить дорожно-строительные материалы, в составы которых входят: подготовленные нефтяные шламы – до 30 %, местные щебни (марок М200, М300, М400 или отсеvy дробления) – до 70 %, портландцемент – до 6 %, вода – до 8 % в соответствии с оптимальной влажностью.

На основе исследований и отработки технологических параметров приготовления и использования материалов по назначению разработана и внедрена схема предварительной технологической подготовки нефтяного шлама для обеспечения его однородности по составу и свойствам. Для получения достаточно однородной органоминеральной смеси, характеристики которой в значительной степени зависят от дозировки нефтяного шлама и его состава, необходимо добиться равномерного распределения составляющих нефтяного шлама. Более однородный по составу и свойствам нефтяной шлам был получен после его подготовки на установке. Технологическая схема следующая (рис. 1): нефтяной шлам из пруда-накопителя погрузчиком доставляется на площадку подготовки и складирования в расчетном объеме, далее погрузчиком нефтяной шлам загружается в приемный бункер установки по предварительной подготовке, далее в смесителе перерабатывается и по транспортеру поступает в погрузчик, далее нефтяной шлам автосамосвалом транспортируется на место производства работ или погрузчиком в штабель на площадку подготовки и складирования. Разработаны Технические условия на подго-

товленный нефтяной шлам для применения в конструкциях дорожных одежд автомобильных дорог ТУ 19.20-001-59304681-2019.



Рис. 1. Технологическая схема подготовки нефтяного шлама

Разработана и внедрена технологическая схема строительства слоев оснований автомобильных дорог методом «смешения на дороге» с ведущим механизмом – ресайклером (рис. 2) с применением серийно выпускаемых дорожно-строительных машин и механизмов.



Рис. 2. Перемешивание щебня, нефтяного шлама, портландцемента и воды ресайклером

Опытно-производственное внедрение результатов исследований осуществлено на 4 экспериментальных участках автомобильных дорог: 1) автомобильная дорога Акташского АБЦ Альметьевского УАД ООО «Татнефтедор»; 2) автомобильная дорога – подъезд к населенному пункту Камышлы – Куль; 3) автомобильная дорога Актюбинский – Алферовка; 4) автомобильная дорога Азнакаево – Верхнее Стярле – Кук-Тяка в Азнакаевском районе Республики Татарстан.

Эксплуатация и мониторинг экспериментальных участков опытного строительства осуществляются с последующим исследованием образцов вырубок материала (рис. 3) в соответствии с нормативными требованиями.

Комплексное освоение вторичных ресурсов углеводородного сырья в дорожно-строительных материалах является ресурсоэффективной техно-

логией и позволяет сделать цикл переработки нефтяных шламов полностью завершенным, исключить образование побочных отходов, что, в свою очередь, способствует улучшению экологического состояния окружающей природной среды в районах добычи и переработки нефти.



Рис. 3. Образец вырубki дорожно-строительного материала с применением нефтяного шлама

Применение нефтяного шлама в составе разработанного материала для дорожного основания позволит получить как прямой, так и косвенный экономический эффект. Прямой эффект – это замена привозного щебня М800 в основании автомобильной дороги и отсутствие экологических штрафов.

Косвенные эффекты: дополнительный приток налоговых поступлений от налога на прибыль в региональный бюджет за счет использования местного щебня в составе разработанного материала; возрастание кадастровой стоимости земель – полигона нефтяных шламов, а также прилегающих к полигону земель. Комплексное освоение вторичных ресурсов углеводородного сырья в дорожно-строительных материалах и технологиях в современных условиях является неотъемлемой частью экономии материальных ресурсов и рационального природопользования.

Список литературы

1. ГОСТ 30491-2012 Смеси органоминеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия. Госстрой России. М.: Стандартинформ, 2013.
2. ГОСТ 12801-98. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний. М.: МНТКС, 1999.
3. Ильина О.Н., Ильин И.Б. Дорожные органоминеральные смеси на основе нефтяного шлама // Инженерно-строительный журнал. 2019. № 8 (92). С. 115-126. DOI: 10.18720/MCE.92.10.

ПРОНИЦАЕМЫЕ АСФАЛЬТОБЕТОННЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ

Кузнецов Михаил Антонович, Козлов Николай Алексеевич

Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А., Россия

e-mail: n64rus@gmail.com, kozlovnikolai@rambler.ru

***Аннотация.** Рассмотрен опыт применения проницаемых асфальтобетонных покрытий дорожных покрытий в различных странах мира, критерии подбора сырьевых материалов, основные свойства, актуальность использования проницаемых асфальтобетонных покрытий в климатических условиях нашей страны.*

***Ключевые слова:** асфальтобетон, проницаемость, щебень, битум, водоотведение, дорожное покрытие, бетонная смесь*

PERMEABLE ASPHALT CONCRETE PAVEMENTS FOR ROAD SURFACE

Kuznetsov Mikhail Antonovich, Kozlov Nikolai Alekseyevich

Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia

e-mail: n64rus@gmail.com, kozlovnikolai@rambler.ru

***Abstract.** Considers the experience of using permeable asphalt concrete road surfaces in various countries of the world, the criteria for the selection of raw materials, the main properties, the relevance of using permeable asphalt concrete coatings in the climatic conditions of our country.*

***Keywords:** asphalt concrete, permeability, crushed stone, bitumen, drainage, road surface, concrete mix*

При использовании плотных асфальтобетонов в верхних слоях покрытия водоотвод осуществляется по поверхности асфальтобетона за счет поперечного уклона дорожного полотна.

Однако со временем на поверхности асфальтобетона образуются полосы наката, в пределах которых остается вода, значительно снижая безопасность движения за счет возникновения эффекта аквапланирования. В США и Европе уже более 60 лет используется альтернативный тип покрытия – дренирующий асфальтобетон.

Дренирующий асфальтобетон – это пористый материал, применяемый в качестве покрытия автомобильных дорог поверх плотного асфальтобетона либо без него и обеспечивающий быстрый отвод воды с поверхности дороги.

Этот материал был разработан в США в 1940-х годах в целях повышения уровня безопасности на дорогах и получил название open graded friction course (OGFC).

Асфальтобетонная смесь подбирается таким образом, чтобы в уплотненном материале имелась система сообщающихся пустот, по которым вода с поверхности дороги удаляется намного быстрее, чем при покрытии из плотных смесей. Это достигается за счет особенности гранулометрического состава смеси, основную долю которого составляет одномерный щебень. Калифорния была первым штатом США, который в 1944 году начал использование дренирующего асфальтобетона. Особую популярность в США эти смеси приобрели в 1970-х, когда начала действовать программа Федерального Дорожного Агентства по борьбе с заносами на дорогах.

Покрытия из дренирующего асфальтобетона были созданы для увеличения безопасности на дорогах, но, помимо высоких сцепных характеристик, они обладают и рядом других преимуществ. Высокая пористость обеспечивает водопроницаемость, что уменьшает количество поверхностной воды и, таким образом, уменьшает количество образуемых брызг из-под колес при дожде. Это ведет к снижению риска аквапланирования и увеличению видимости на дорогах, а в конечном итоге – к повышению уровня безопасности дорог. Кроме того, наличие открытой пористости и пустот в структуре дренирующего асфальтобетона способствует сокращению шума, возникающего при взаимодействии шины с покрытием.

Согласно данным, полученным зарубежными учеными [1-6], толщина слоя асфальтобетонного покрытия и содержание в нем открытой пористости и пустотности влияют на уровень шума, возникающего при движении транспорта.

Установлено, что при значениях пустотности 2,3-28,5 % производимый шум находится на уровне ниже 100 дБ. При этом все смеси с пустотностью выше 8 % сохраняли уровень шума ниже 98,5 дБ. Измерения производились по стандартной методике при помощи нескольких микрофонов, находящихся в непосредственной близости к зоне контакта колеса автомобиля и покрытия дороги [7].

Дренажный асфальтобетон был применен при устройстве дорожного полотна на скоростной дороге Киото – Дзюкан (Kyoto Jūkan Expressway). Асфальтобетон такого типа распространен в Японии, однако в данном случае был спроектирован состав смеси, отличный от традиционно принятого. При проектировании состава и технологии учитывались свойства и состав полимерного битумного вяжущего, форма заполнителя (кубовидный щебень), содержание воды в смеси, характеристики и режим работы смесителей, асфальтоукладчиков, а также различные методы устройства асфальтобетонного покрытия. По результатам исследований спустя 7 лет эксплуатации автодороги полученное покрытие обладает повышенной устойчивостью к трещинообразованию, колееобразованию и шелушению по сравнению с традиционно применяемым составом дренажного асфальтобетона [8].

По зерновому составу дренажный асфальтобетон близок к ЩМА, поскольку в нем также преобладает крупный заполнитель фракций 5-10, 10-15, 15-20 для ЩМА-10, ЩМА-15 и ЩМА-20 соответственно. При проектировании состава дренажного асфальтобетона в зависимости от типа битумного вяжущего варьируется и его массовая доля в составе смеси. Для асфальтобетона на обычном дорожном битумном вяжущем его содержание в смеси обычно составляет 5-7 %, на полимерно-битумном вяжущем – 6-8 %, на резинобитумном – 8,5-10 %. Также при необходимости регулирования стекания возможно добавлять в вяжущее минеральные или целлюлозные волокна в количестве 0,2-0,5 % от массы смеси.

Один из возможных зерновых составов смеси дренажного асфальтобетона, разработанный в Университете штата Калифорния [11], приведен в таблице. Содержание битумного вяжущего – 5,2 % от массы смеси. Коэффициент фильтрации дорожного покрытия должен быть не менее 0,3 см/с.

Зерновой состав разработанного проницаемого асфальтобетона

Номер сита	Полный проход, %
1 in. (25 мм)	100
3/4 in. (19 мм)	100
1/2 in. (12,5 мм)	95,3
3/8 in. (9,5 мм)	82,1
№ 4 (4,75 мм)	28,4
№ 8 (2,36 мм)	13,9
№ 16 (1,18 мм)	9,8
№ 30 (0,60 мм)	8,5
№ 50 (0,30 мм)	5,8
№ 100 (0,15 мм)	4,2
№ 200 (0,075 мм)	3,3

При этом дорожная одежда для этого состава была спроектирована следующим образом: дорожное покрытие – дренажный асфальтобетон толщиной 200 мм с наибольшим размером зерен до 12,5 мм; дорожное основание – слой толщиной 50 мм с наибольшим размером зерен 9,53 мм; слой щебня толщиной 500 мм с наибольшим размером зерен 63,5 мм; слой геотекстильного полотна; земляное полотно уплотняется до 90-92 % от максимальной плотности грунта, установленной экспериментальным путем в лаборатории [9, 10].

Было проведено экспериментальное сравнение асфальтобетона с дренажным цементным бетоном, состав которого также был разработан в рамках исследования [11]. По итогу после 22 месяцев эксплуатации в качестве дорожных покрытий парковки оба вида материала отлично справились со своей основной задачей – отводом дождевой воды с поверхности.

Несмотря на связанные с использованием дренирующих асфальтобетонов в III-IV дорожно-климатических зонах России трудности, вызванные в основном большим количеством циклов замораживания и оттаивания в зимний период и использованием пескосолевых смесей во время зимнего содержания, покрытие из дренирующего асфальтобетона обладает рядом свойств, способствующих повышению комфорта и безопасности дорожного движения.

Наиболее целесообразным было бы устройство покрытий из дренирующего асфальтобетона на юге России, например в Краснодарском крае, где на большей части территории – средиземноморский и субтропический климат с мягкой зимой, во время которой преобладают осадки в виде дождей. Такие климатические условия исключают основные недостатки данного типа покрытия, при этом создают потребность в дополнительном отводе дождевой воды с поверхности автомобильных дорог и внутридворовых проездов.

Таким образом, при правильном подборе сырьевых компонентов с учетом климатических условий нашей страны возможно применять проницаемые дорожные покрытия, что не только может существенно повысить безопасность дорожного движения и снизить шум от движения машин, но и обеспечит дополнительный дренаж, который позволит снизить риск подтопления улиц города.

Список литературы

1. Miljkovic M.; Radenberg M. Thin noise-reducing asphalt pavements for urban areas in Germany. *Int. J. Pavement Eng.* 2012, 13, 569-578.
2. Losa M.; Leandri P.; Licitra G. Mixture design optimization of low-noise pavements. *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board* 2013, 2372, 25-33.
3. Kragh J.; Bendtsen H.; Hildebrand G. Noise classification for tendering quiet asphalt wearing courses. *Procedia Soc. Behav. Sci.* 2012, 48, 570-579.
4. Bendtsen H.; Oddershede J.; Quing Lu A.R. Asphalt Pavement Texture and Noise; The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine: Washington, DC, USA, 2013; ISBN 9788770607506.
5. Ongel A.; Kohler E.; Lu Q.; Harvey J. Comparison of surface characteristics and pavement/tire noise of various thin asphalt overlays. *Road Mater. Pavement Des.* 2008, 9, 333-344.
6. Chen D.; Ling C.; Wang T.; Su Q.; Ye A. Prediction of tire-pavement noise of porous asphalt mixture based on mixture surface texture level and distributions. *Constr. Build. Mater.* 2018, 173, 801-810.
7. ISO/CD11819-2. Acoustics-Measurement of the Influence of Road Surfaces on Traffic Noise-Part 2: The Close-Proximity Method; ISO: Geneva, Switzerland, 2000.
8. Moriyoshi, Akihiro; Jin, Toshiro; Nakai, Takaaki; Ishikawa, Hiroshi; Tokumitsu, Katsuya; Kasahara, Akihiko. Construction and pavement properties after seven years in porous asphalt with long life. *Construction and Building Materials*, 50, 401-413.
9. Jones D., Harvey J., Li H., Campbell B., 2010 a. Laboratory Tests to Assess Mechanical Properties of Permeable Pavement Materials (Technical Memorandum). California Department of Transportation, Sacramento.

10. Jones D., Harvey J., Li H., Wang T., Wu R., Campbell B., 2010 b. Laboratory Testing and Modeling for Structural Performance of Fully Permeable Pavements, Final Report. California Department of Transportation, Sacramento. CTSW-RT-10-249.04.

11. Saadeh S., Ralla A., Al-Zubi Y., Wub R., Harvey J., 2019. Application of fully permeable pavements as a sustainable approach for mitigation of stormwater runoff. National Center for Transportation, Green Technology, and Education (TransGET), California State University Long Beach, Long Beach, CA 90840, United States, University of California, Davis, CA, United States.

УДК 678.5:504.064.47

ДРЕВЕСНО-МИНЕРАЛЬНЫЕ КОМПОЗИТЫ ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Липунов Игорь Николаевич, Первова Инна Геннадьевна

Уральский государственный лесотехнический университет, Россия
e-mail: lipunovin@m.usfeu.ru, pervovaig@m.usfeu.ru

***Аннотация.** Разработаны физико-химические основы, способы и рецептуры получения древесно-минеральных композитов из промышленных отходов и ресурсосберегающие, малоотходные технологии производства на их основе строительных материалов конструкционного назначения с улучшенными теплофизическими и эксплуатационными свойствами. Каждый вид промышленного отхода, вовлекаемый в процесс техногенеза на основе межотраслевой кооперации, в соответствии со своим химическим составом и полезными свойствами использован по прямому назначению в качестве: твердофазного наполнителя, минерального вяжущего, модификатора, улучшающего физико-механические характеристики композита и, как следствие, эксплуатационные свойства строительного материала.*

***Ключевые слова:** промышленные отходы, древесные композиты, рецептура, ресурсосберегающие технологии, энергоэффективные строительные материалы*

WOOD-MINERAL COMPOSITES MADE FROM TECHNOGENIC RAW MATERIALS FOR CONSTRUCTION

Lipunov Igor Nikolaevich, Pervova Inna Gennadievna

Ural State Forest Engineering University, Russia
e-mail: lipunovin@m.usfeu.ru, pervovaig@m.usfeu.ru

***Abstract.** The study has revealed physical and chemical fundamentals of the wood-mineral composites made from industrial waste. It has been designed the most effective compositions and manufacturing methods of the composites having resulted in developing a technology for obtaining composite construction materials with improved thermal performance and operational efficiency. The technology is a novel solution in creation of a circular system that keeps magnesium-containing slurry in the economy and out of the natural environment. In accordance with its chemical composition and specific characteristics, each type of the industrial wastes, involved into the technogenesis based on cross-industry collaboration, was used for its target as a solid-phase filler, mineral binder, modifier that improves the physical*

and mechanical characteristics of the composites and, as a result, the operational efficiency of the construction materials.

Keywords: *industrial waste, wood-based composites, circular economy, resource-efficient technologies, energy-efficient construction materials*

Все композиционные материалы, в том числе и нашедшие применение в строительной индустрии в качестве конструкционных, теплоизолирующих и отделочных материалов, независимо от их происхождения являются результатом объемного сочетания двух и более разнородных веществ, в качестве которых используются природные растительные и минеральные ресурсы и/или технические продукты [1]. Альтернативой природным и техническим веществам, используемым в качестве компонентов композиционных материалов, могут служить отходы различных промышленных производств.

Целью данной работы является использование конкретных видов промышленных отходов для разработки технологий приготовления древесно-минерального композита (ДМК) и производства на его основе строительных материалов с улучшенными потребительскими свойствами.

Методология научных исследований по изысканию и использованию промышленных отходов в качестве компонентов ДМК и последующих этапов разработки прогрессивных технологий и эффективного оборудования приготовления композита высокой степени гомогенизации проводилась с учетом ранее разработанных нами и опубликованных концептуальных подходов и структурной схемы комплексной переработки промышленных отходов на основе межотраслевой кооперации [2].

Проведена инвентаризация конкретных видов отходов предприятий механической (опилки хвойных древесных пород и стружка) и химической (гидролизный лигнин) переработки древесного сырья, металлургической (шламы карналлитовых хлораторов магниевого производства) и асбестовой (серпентиниты) промышленности, а также тепловых электростанций, работающих на твердом природном углеводородном топливе (алюмосиликатные микросферы). Проведены комплексные исследования химического, фазового и радионуклидного состава, полезных свойств, жизненного цикла, способности к регенерации каждого вида отходов. Научно обоснован выбор конкретного вида отхода, который может быть использован в качестве одного из основных компонентов композиционной смеси.

Кусковые и мягкие отходы механической переработки древесного сырья использованы в качестве твердофазного полимерного целлюлозосодержащего наполнителя природного происхождения. Такие отходы являются дешевым, легкодоступным и воспроизводимым сырьевым ресурсом. В качестве магниезаменяющего выбраны металлургические шламы, образующиеся на стадии глубокого обезвоживания расплава карналлита производства металлического магния, обладающие уникальным химическим составом. Количественное содержание магниезаменяющих компонентов в шламе и их массовое соотно-

шение $MgO : MgCl_2 = 1 : 0,62 \div 0,69$ хорошо согласуется как с экспериментально установленным, так и с практически используемым соотношением этих компонентов при получении магнезиальных цементов на основе каоустического вяжущего магнезита и раствора $MgCl_2$ [3].

Обладая низкой теплопроводностью, высокой прочностью на сжатие, устойчивостью к длительному воздействию высоких температур и агрессивных сред, алюмосиликатные микросферы (АСМ), являющиеся составной частью каменноугольной золы тепловых электростанций, нашли применение в составе композита в качестве модификатора для снижения плотности композита и коэффициента теплопроводности строительного материала, производимого на его основе.

Проведенные комплексные исследования по изучению кинетики и термодинамики реакционной способности и вяжущих свойств оксида магния, содержащегося в шламе в системе $MgO - MgCl_2 - H_2O$ и самого шлама в системе шлам – H_2O , показали, что оксид магния шлама химически активен и способен образовывать устойчивые кристаллогидратные структуры, являющиеся основой формирования магнезиального теста [4].

Установлено массовое отношение шлама и воды для получения магнезиального теста, отвечающего требованиям нормативных документов по его нормальной густоте, срокам начала и конца схватывания, прочностным и теплофизическим характеристикам лабораторных образцов, сформированных из магнезиального теста. Кристаллогидратная структура магнезиального цемента, сформированная из такого магнезиального теста, установленная методами рентгенофазового анализа и ИК-спектроскопии, представлена гидроксидом, триокси- и пентаоксигидрохлоридом магния.

Результаты исследования шлама и смеси шлама с древесными опилками в массовом соотношении $1:(1 \div 0,8)$ на естественную радиоактивность и токсичность показали практическую возможность использования шлама в качестве порошка магнезиального вяжущего (ПМВ) для приготовления древесно-минеральной композиционной смеси и последующего производства на ее основе строительного материала.

На основании проведенных исследований по определению оптимальных соотношений компонентов композиционной смеси (древесные опилки, ПМВ, АСМ, H_2O), установлению последовательности загрузки компонентов на смешение, влиянию температуры и давления на формирование опытных образцов изделий и изучения их физико-механических характеристик разработаны рецептуры и составы приготовления древесно-минеральных композиционных смесей. Одни смеси пригодны для производства тепло- и звукоизолирующих материалов [5], другие – для изготовления строительного древесно-композиционного материала (СДКМ) с улучшенными теплофизическими свойствами для малоэтажного домостроения, магнезиальных полов промышленного назначения и профильных изделий для защиты подземных коммуникаций от коррозии [6].

Независимо от назначения в любой композиционной смеси содержание ПМВ зависит от количества в нем активных форм оксида и хлорида магния, участвующих в образовании кристаллогидратных структур магниального цемента. При этом количество добавляемой воды в композиционную смесь для образования внутреннего растра $MgCl_2$ плотностью $1,2 \text{ кг/м}^3$ рассчитывается в зависимости от содержания в ПМВ хлорида магния и влажности древесного наполнителя, что нами учтено при разработке технологической установки приготовления композиционной смеси из техногенных компонентов.

Одной из важных технических задач, которая должна быть решена в процессе приготовления композиционной смеси, является достижение высокой степени ее однородности, глубокой пропитки древесных частиц связующим и равномерного распределения техногенных компонентов по всему объему композиционной смеси. В представляемой технологии регенерация твердофазных отходов, обеспечиваемая способом дробления, помола и фракционирования до соответствующей степени их дисперсности, способствует активации их поверхности и, как следствие, интенсификации массообменных и реакционных процессов при их перемешивании. Стоит отметить, что разработанная автоматизированная технологическая линия приготовления композиционной смеси и производства строительного материала потребовала комплектации нестандартными технологическими аппаратами, конструкции которых разработаны авторами для данной технологии (рисунок).

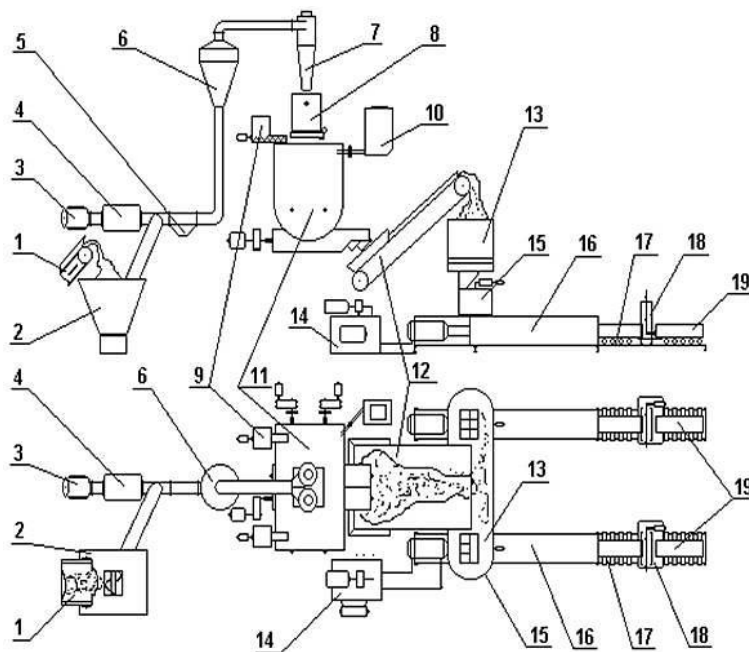


Рис. 1. Технологическая линия производства СДКМ: 1 – транспортер подачи опила; 2 – бункер питатель сушилки; 3 – осевой напорный вентилятор; 4 – теплообменник; 5 – уловитель тяжелых частиц; 6 – сушилка; 7 – циклон; 8 – весовой дозатор биомассы; 9 – дозаторы вяжущего и микросферы; 10 – дозатор воды; 11 – реактор-смеситель; 12 – транспортер выгрузки композиционной смеси; 13 – бункер-накопитель композиции; 14 – гидравлическая станции; 15 – бункер-ворошитель композиции; 16 – экструзионная прессовая установка; 17 – стол раскроя; 18 – маятниковая пила; 19 – стол-накопитель СДКМ

Таковыми аппаратами являются комбинированная сушилка (КСЛ), позволяющая надежно поддерживать заданную влажность дисперсного древесного наполнителя, реактор-смеситель (МРС 2Ш-2000), конструкция которого обеспечивает высокую степень гомогенизации получаемого композита и экструзионная прессовая установка. Нарботана опытная партия СДКМ на действующем производстве стеновых профильных деталей (СПД), для которых композиционную смесь получали с использованием каустического магнезита и раствора $MgCl_2$, и испытана на основные физико-механические свойства (таблица).

Физико-механические свойства опытной партии СДКМ

Показатели	Опытная партия	СПД ТУ ОП 13-177/91
Плотность, $кг/м^3$	900-1000	1100-1300
Водопоглощение, %	9-11	6-14
Предел прочности, МПа		
• при сжатии, не менее	19-25	10-19
• при изгибе, не менее	2,8-3,6	2,6-3,0
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К, не более	0,085-0,095	0,32

Данные испытаний, представленные в таблице, подтверждают, что разработанный состав композиционной смеси [6], содержащий в качестве компонентов техногенное сырье, позволяет производить энергоэффективный строительный материал для малоэтажного домостроения с улучшенными теплофизическими ($k_t = 0,085-0,095$ Вт/м·К) и плотностными ($\rho = 900-1000$ $кг/м^3$) характеристиками.

Список литературы

1. Кербер М.Л. Композиционные материалы / М.Л. Кербер // Соросовский образовательный журнал. 1999. № 5. С. 33-41.
2. Липунов И.Н. К вопросу о рециклинге промышленных отходов / И.Н. Липунов, И.Г. Первова, И.В. Николаев // Экология и промышленность России. 2015. Т. 19. № 4. С. 24-29.
3. Колбасов В.М. Технология вяжущих материалов / В.М. Колбасов, И.И. Леонов, Л.М. Сулименко. М.: Стройиздат, 1987. 432 с.
4. Липунов И.Н. Кинетика и термодинамика процессов твердения в системах $MgO-H_2O$ и $MgO-MgCl_2-H_2O$ / И.Н. Липунов, М.С. Ковель, А.С. Теплоухов [и др.] // ЖПХ, 2004. Т. 77. Вып. 4. С. 548-552.
5. Пат. РФ на изобретение № 2163541. Способ и состав для изготовления тепло- и звукоизолирующих древесно-композиционных материалов / Липунов И.Н., Тетюхин В.В., Беседин В.А. [и др.]. Бюл. № 6 от 27.02.2001.
6. Пат. РФ на изобретение № 2199503. Состав композиционной смеси для изготовления древесно-композиционных материалов / Липунов И.Н., Юпатов А.А., Аликин В.И. [и др.]. Бюл. № 6 от 27.02.2003.

МОДИФИКАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ ВИНИЛНАФТАЛИНОМ

Никулина Надежда Сергеевна¹, Дмитренко Александр Иванович²,
Никулин Сергей Саввович³, Санникова Наталья Юрьевна³

¹Воронежский институт повышения квалификации сотрудников ГПС
МЧС России, e-mail: nikulina2013@yandex.ru

²Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова, Россия, e-mail: aurika44@mail.ru

³Воронежский государственный университет
инженерных технологий, Россия
e-mail: nikulin_sergey48@mail.ru, cnu@inbox.ru

***Аннотация.** Рассмотрено применение для модификации натуральной древесины винилнафталина. Показано, что высокотемпературная обработка древесины приводит к полимеризации винилнафталина в ее проводящих элементах и обеспечивает эффективную защиту, получаемого композита от неблагоприятных факторов.*

***Ключевые слова:** древесина, винилнафталин, модификация, полимеризация*

MODIFICATION OF BUILDING WOOD MATERIALS VINYLNAPHTHALENE

Nikulina Nadezhda Sergeevna¹, Dmitrenkov Alexander Ivanovich²,
Nikulin Sergey Savvovich³, Sannikova Natalia Yurievna³

¹Voronezh institute of Advanced Training of Employees of the
EMERCOM of Russia, e-mail: nikulina2013@yandex.ru

²Voronezh state forestry University named after G. F. Morozov, Russia
e-mail: aurika44@mail.ru

³Voronezh state University of engineering technologies, Russia
e-mail: nikulin_sergey48@mail.ru, cnu@inbox.ru

***Abstract.** The paper considers the use of vinyl naphthalene for modification of natural wood. It is shown that high-temperature treatment of wood leads to polymerization of vinyl naphthalene in its conductive elements and provides effective protection of the resulting composite from adverse factors.*

***Keywords:** wood, vinyl naphthalene, modification, polymerization*

Натуральная древесина – распространенный природный полимерный материал, обладающий доступностью и широко применяемый в промышленном и гражданском строительстве. Однако, кроме неоспоримых достоинств, древесине присущи и недостатки: различие механических свойств в зависимости от породы, подверженность изменению формы и размера в результате набухания, усушки, коробления, наличия пороков и др.

Снизить или даже полностью исключить вышеперечисленные недостатки возможно за счет модификации. Модифицированная древесина приобретает ряд новых свойств: повышенную прочность, водо- и влагостойкость, устойчивость к биологическому разрушению и др. Достичь данного эффекта возможно за счет введения в нее химически активных веществ. Особое внимание при этом уделяется тем модификаторам, которые при обработке получаемых композитов при повышенных температурах способны к активному химическому взаимодействию с компонентами древесины. Это позволяет снизить вымываемость модификатора из древесного композита и повысить срок службы изготовленных изделий [1].

В литературных источниках [2] предлагается с целью увеличения срока службы изделий из древесины и повышения ее физико-механических показателей использовать низкомолекулярные сополимеры, полученные из отходов и побочных продуктов нефтехимии, мочевины, феноло- и мочевиноформальдегидных смол и др.

Одним из способов модификации древесных композитов является использование полимеров *in situ* [3, 4]. Для этих целей применяют радиационную полимеризацию виниловых мономеров в древесине под действием γ -излучения. Полимеризация осуществляется при низких температурах и сопровождается прививкой получаемых полимеров к компонентам древесины, таким как целлюлоза, гемицеллюлоза и лигнин. Для модификации применяли такие мономеры как стирол, акрилонитрил, акриламид, винилацетат и их смеси. Модифицированные древесные композиты обладают улучшенным комплексом свойств: стабильностью размеров, повышенными прочностными показателями, водостойкостью, стойкостью к агрессивным средам.

Для повышения показателей получаемых древесно-полимерных композитов в ряде случаев рекомендуется применять термическую обработку древесины [5], содержащей винильные мономеры и радикальный инициатор. В проводящих элементах натуральной древесины будет протекать полимеризация мономеров. Данный процесс можно сочетать с одновременной отгонкой растворителя, присутствующего в наполненном древесно-мономерно-полимерном композите.

В работе [6] для получения пропиточных составов для модификации древесных материалов использовали два вида полимерных отходов: побочные продукты нефтехимии и отходы пенополистирола за счет проведения их совместной деструкции. Полученные по данной технологии древесно-полимерные композиты имели невысокое водопоглощение и разбухание, повышенные прочностные показатели.

В то же время в литературных источниках отсутствуют сведения по использованию для модификации древесины производных нафталина и, в частности α -винилнафталина (ВН).

На чем же базируется интерес к использованию для модификации древесины α -винилнафталина? Это связано с тем, что нафталин и его производные недефицитны, находят широкое применение в различных промышленных отраслях: для получения красителей и взрывчатых веществ, в медицине, как инсектициды и др. [7]. В промышленности нафталин получают из каменноугольной смолы. В то же время нафталин и его производные легко вымываются растворителями из изделий, улетучиваются при повышенных температурах.

Все это снижает эффективность его действия. Интерес в этом плане представляют винильные производные нафталина. Они имеют высокую температуру кипения, в отличие от других низкокипящих мономеров, используемых для модификации древесины (стирол, акриловые соединения и др.), и, следовательно, имеют хорошие шансы остаться в проводящих элементах древесины после ее высокотемпературной обработки. Полимеры ВН имеют достаточно высокую механическую прочность и теплоустойчивость.

Целью данной работы является изучение возможности применения для модификации древесины α -винилнафталина.

α -Винилнафталин по своей полимеризационной способности почти в 2000 раз превышает стирол. Поэтому при высокотемпературной обработке (160°C) пропитанных образцов древесины он будет полимеризоваться в проводящих структурах древесины с образованием поливинилнафталина (ПВН).

На ПВН в меньшей степени будут действовать вода, водные растворы солей, кислот и щелочей, а также ряд органических растворителей. Образование древесно-полимерного каркаса будет способствовать приданию изделиям не только повышенных прочностных показателей, улучшенной водо- и влагостойкости, но и придавать им антисептические свойства и повышать срок их эксплуатации.

Используемый в работе ВН получали по известной методике, приведенной в [8]. С целью облегчения введения ВН в полости древесины на его основе готовили углеводородные пропитывающие растворы с использованием в качестве растворителя толуола. Образцы древесины березы выдерживали в растворах в течение 24 часов при температуре 20°C , после чего проводили удаление толуола и подвергали обработке при температуре $160\text{--}165^\circ\text{C}$ в течение 5 ч. При данной обработке протекает полимеризация ВН по радикальному механизму с образованием ПВН. Однако полное превращение ВН в ПВН не достигали. В структурах древесины присутствовала смесь ВН с ПВН.

С практической и теоретической точки зрения целесообразно было определить степень превращения ВН в ПВН в проводящих элементах древесины березы. Важность данного анализа заключалась еще и в том, что в компонентном составе древесины присутствуют фенольные соединения,

способные выполнять функцию ингибиторов радикальных процессов [9]. Это должно привести к снижению конверсии ВН. Таким образом, результаты данного анализа должны показать, что нужно сделать, чтобы повысить конверсию ВН. Повышать температуру модификации до 170°C и выше нельзя, так как это приведет к изменениям свойств древесного вещества в получаемом композите.

Для подтверждения вышеприведенных соображений взвешенные образцы древесно-мономерно-полимерного композита со смесью ВН с ПВН измельчали и помещали в аппарат Сокслета [10]. Для экстракции мономерно-полимерной смеси в качестве растворителя использовали толуол. Отбором проб из колбы, содержащей толуол с экстрагированной мономерно-полимерной смесью, определяли сухой остаток. Экстракцию проводили до постоянного значения сухого остатка.

После завершения экстракции проводили концентрирование полученного толуольного раствора. Выделение ПВН осуществляли путем смешения его со спиртом. Выделяемый ПВН отделяли от раствора фильтрованием и после промывки спиртом и водой сушили в сушильном шкафу до постоянной массы.

После экстракции остаток извлекали из аппарата Сокслета и удаляли толуол из древесины и определяли потерю массы в процентах.

Проведенными исследованиями было установлено, что конверсия ВН не превышала 60 %. Таким образом, в проводящих элементах древесины березы присутствовала смесь, состоящая из 50-60 % ПВН и 40-50 % ВН.

Экспериментальные результаты по определению водопоглощения и разбухания натуральной и модифицированной древесины березы после 1 и 30 суток нахождения в дистиллированной воде представлены в таблице.

Влияние содержания α -винилнафталина в модифицированной древесине березы на водопоглощение и разбухание образцов после 1 и 30 суток выдерживания в дистиллированной воде

Показатели	Натуральная древесина	Содержание α -винилнафталина в модифицированной древесине, %		
		10,4	16,7	25,9
Водопоглощение, % (1 / 30 суток)	44,9 / 119,2	8,7 / 55,6	5,2 / 48,3	1,5 / 36,0
Разбухание в радиальном направлении, %	5,6 / 7,7	4,4 / 6,9	3,7 / 4,6	2,8 / 3,0
Разбухание в тангенциальном направлении, %	6,4 / 8,3	6,8 / 7,5	5,3 / 7,0	3,6 / 5,2

Примечание: температура термообработки 160°C, продолжительность 5 ч.

Анализ полученных результатов показывает, что чем выше содержание модификатора в древесине березы, тем ниже водопоглощение и разбухание образцов древесно-полимерно-мономерного композита.

Таким образом, ВН может быть использован для модификации и защитной обработки древесины.

Полученный древесно-полимерно-мономерный композит обладает повышенной стойкостью к действию воды и влаги.

Изготовленные образцы модифицированной древесины, содержащие в матрице ВН и ПВН, обладают антисептической активностью, что должно увеличить срок эксплуатации изделий на их основе.

Список литературы

1. Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение. М: Академия, 2004. 266 с.
2. Шамаев В.А. Химико-механическое модифицирование древесины. Воронеж: Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2003. 260 с.
3. Менсон Дж. Полимерные смеси и композиты. М: Химия, 1979. 440 с.
4. Хрулев В.М. Модифицированная древесина и ее применение. Кемерово: Кн. изд-во, 1988. 118 с.
5. Mathias Z.I. et. al. Polym. Prepr. // Amer. Chem. Soc. 1990. Vol. 31. № 1. P. 646.
6. Применение олигомеров из побочных продуктов производства полибутадие-на, модифицированного вторичным пенополистиролом для защитной обработки древесных материалов / Н.С. Никулина, Г.Ю. Вострикова, А.И. Дмитренко, С.С. Никулин // Химия, физика и механика материалов. 2018. № 1 (16). С. 23-32.
7. Доналдсон Н. Химия и технология соединений нафталинового ряда. М.: ГНТИХЛ, 1963. 656 с.
8. Колесников Г.С. Синтез винильных производных ароматических и гетероциклических соединений. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 303 с.
9. Трегубова И.А., Косолапов В.А., Спасов А.А. Антиоксиданты: Современное состояние и перспективы // Успехи физиологических наук. 2012. Т. 43. № 1. С. 75-94.
10. Воскресенский П.И. Техника лабораторных работ. М.: Химия, 1969. 701 с.

УДК 692.232: 339.13.017

ВЫБОР СТЕНОВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МАЛОЭТАЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Палёха Кирилл Олегович, Староверов Вадим Дмитриевич

*Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет, Россия*
e-mail: kirill5q@mail.ru, svd1303@yandex.ru

***Аннотация.** Рассматриваются широко используемые виды стеновых строительных конструкций, применяемых в малоэтажном домостроении Российской Федерации. Приведены основные показатели сложившегося рынка индивидуального жилого строительства, а также перспективы его развития. Сформирован ряд показателей и их значимость, формирующих в совокупности модель многокритериального синтеза, посредством которой происходит комплексный анализ применения каждого материала. На основании конечного результата сформирован комплексный рейтинг пригодности рассматриваемых технологий устройства стеновых строительных конструкций в малоэтажном строительстве.*

Ключевые слова: малоэтажное строительство, строительная продукция, энергоэффективное домостроение, многокритериальный синтез, технологичность, долговечность

SELECTION OF WALL BUILDING MATERIALS FOR LOW-RISE CONSTRUCTION

Palekha Kirill Olegovich, Staroverov Vadim Dmitrievich

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Russia
e-mail: kirill5q@mail.ru, svd1303@yandex.ru

***Abstract.** The article deals with the widely spread types of wall building structures used in low-rise construction of Russian Federation. The main indicators of the existing market of individual construction and development prospects of this market are presented. A list of indicators and their significance have been formed, which together form a model of multicriteria synthesis, through which a comprehensive analysis of the use of each materials occurs. Based on the final result, a comprehensive rating of the suitability of the technologies for the construction of wall building structures in low-rise construction has been formed.*

***Keywords:** Low-rise construction, construction products, energy-efficient housing construction, multicriteria synthesis, manufacturability, durability*

Строительные технологии постоянно совершенствуются, и разрабатываются эффективные решения. К настоящему времени накоплен довольно широкий диапазон конструкционно-теплоизоляционных строительных материалов и изделий, которые выполняют свои основополагающие функции. Между тем для достижения необходимого уровня безопасности и оптимального качества здания одного факта выбор «правильного» стенового материала не является достаточным условием, наряду с этим не менее важны такие составляющие, как качество проектирования и качество соблюдения технологии строительного производства. Очевидно, что от технически грамотного (профессионального) применения выбранных материалов будут зависеть надежность, долговечность, эффективность (в том числе и энергетическая), технологичность, ремонтпригодность, эргономичность и эстетичность жилища.

В настоящей статье сформулирована задача формирования комплексной технико-экономической оценки на основе сравнительного анализа имеющихся на рынке в европейской части России стеновых строительных конструкций. В качестве инструмента сравнительного анализа выбрана модель многокритериального синтеза [1]. Согласно выбранной модели оценка и анализ стеновых конструкций выполняются на основе интегрального критерия, включающего, в свою очередь, наиболее важные частные критерии (табл. 1). При этом их перечень и весомость получены на экспертной основе.

Таблица 1

Матрица многокритериальной оценки

№	Наименование частного критерия	Вес критерия, %
1	Стоимость (рассматриваются суммарные затраты на устройство конечной строительной конструкции: цены за материалы; расценки на строительно-монтажные работы)	25,0
2	Механические свойства (прочностные показатели)	5,5
3	Физические свойства (теплопроводность, морозостойкость, водостойкость, звукоизоляция, огнестойкость)	17,5
4	Долговечность	12,0
5	Эстетическая привлекательность (внешне)	6,0
6	Экологичность (совокупность факторов, подразумевающих не только безвредность для человеческой жизни, но также и степень влияния на окружающую среду при разработке материала, его эксплуатации и конечной утилизации продукта)	10,5
7	Скорость возведения конструкции	7,5
8	Требования к квалификации рабочего труда	6,0
9	Требования к эксплуатации конструкции, а также ее ремонтпригодность	5,0
10	Внутренняя отделка (удобство устройства)	5,0

Подробно экономические и теплотехнические свойства различных вариантов устройства выбранных стеновых конструкций (в климатических условиях Ленинградской области) представлены в табл. 2 и на рис. 1.

Таблица 2

Теплотехнический расчет стеновых строительных конструкций

№ варианта	Параметр	Стеновая конструкция			
		Газобетон D400; B2,5; толщиной 300 мм на цементно-песчаном растворе, в качестве теплоизоляционного слоя: минеральная вата толщиной 50 мм и плотностью 80 кг/м ³ , легкая паропроницаемая штукатурка в 2 слоя по сетке	Крупноформатная пустотелая керамика толщиной 300 мм на теплом растворе + минеральная вата толщиной 100 мм и плотностью 80 кг/м ³ + легкая паропроницаемая штукатурка в 2 слоя	Пустотелый кирпич (1,5 ряда, общей толщиной 380 мм) + минеральная вата толщиной 100 мм и плотностью 80 кг/м ³ + облицовочный кирпич	Каркасная технология (полная сборка на площадке), толщина утеплителя 200 мм плотностью 80 кг/м ³ + сплошная обрешетка для крепления наружной облицовки стены
1	2	3	4	5	6
1	Санитарно-гиг. треб-я: $R > R_c$, (м ² *°C)/Вт;	3,93 > 1,26	4,56 > 1,26	3,6 > 1,26	4,92 > 1,26

1	2	3	4	5	6
2	Поэл-е треб-я: $R > R_t$, ($m^2 \cdot ^\circ C$)/Вт;	$3,93 > 2,99$	$4,56 > 2,99$	$3,6 > 2,99$	$4,92 > 2,99$
3	Потери тепла через $1 m^2$ за отоп. сезон, кВт*ч;	27,69	23,89	28,24	22,2
4	Потери тепла через $1 m^2$ за 1 час при тем- пературе самой холодной пя- тидневки, Вт*ч	11,19	9,65	11,41	9,15

Условные обозначения:

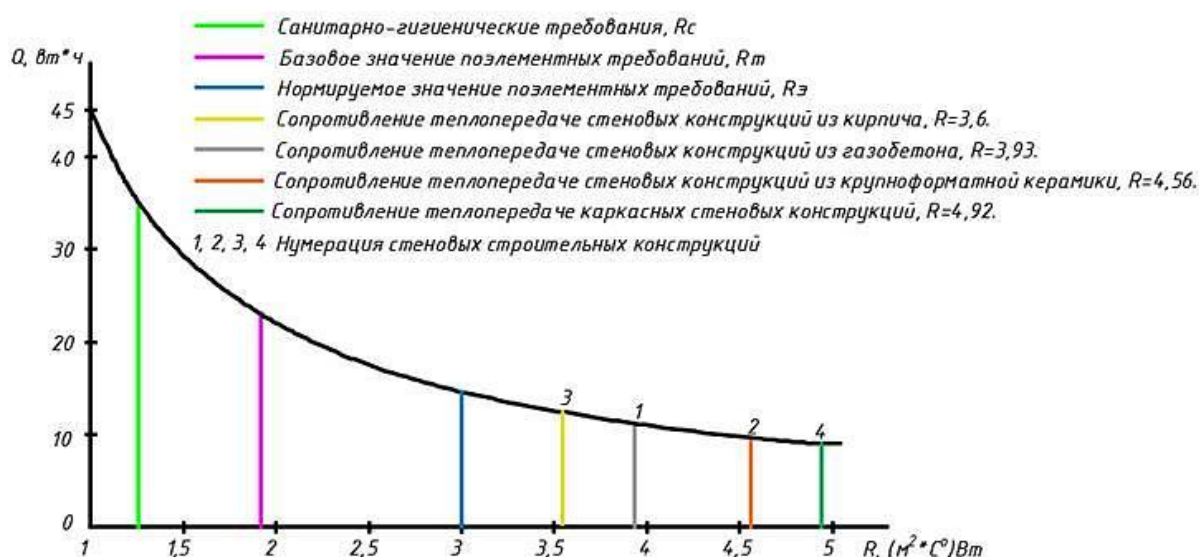


Рис. 1. К расчету на тепловую защиту стеновых строительных конструкций

Согласно [2, 3], требуемые сопротивления теплопередаче по санитарно-гигиеническим [R_c] и базовым поэлементным требованиям [R_t] составляют $1,26 (m^2 \cdot ^\circ C)/Вт$ и $2,99 (m^2 \cdot ^\circ C)/Вт$ соответственно. Ограждающая конструкция удовлетворяет требованиям при соблюдении санитарно-гигиеническом требовании $R > R_c [(m^2 \cdot ^\circ C)/Вт]$ и поэлементного требования $R > R_t [(m^2 \cdot ^\circ C)/Вт]$.

Расчет себестоимости устройства конструкции выполнен на примере варианта 1 (газобетон D400; B2,5; толщиной 300 мм на цементно-песчаном растворе, минеральная вата толщиной 50 мм и плотностью $80 кг/м^3$, легкая паропроницаемая штукатурка в 2 слоя по сетке) (табл. 3). Аналогичные расчеты проведены для остальных вариантов (2-5), полученные результаты сведены в табл. 4.

Таблица 3

Расчет стоимости устройства стеновой конструкции
из газобетона (вариант 1)

№	Наименование работы	Ед. изм.	Количество	Цена за ед материала, руб.	Цена за ед. работы, руб.	Стоимость итого, руб.	С учетом к-та запаса (k = 1,1)
1	Кладка газобетонных блоков D400; B2,5; толщиной 300 мм	м ³	39	5050	2500	294450	323895
2	Раствор для кладки	кг	975	11	–	10725	11798
3	Устройство минеральной ваты толщиной 50 мм, плотностью 80 кг/м ³	м ²	132	170	300	62040	68244
4	Устройство штукатурной сетки	м ²	132	80	300	50160	55176
5	Нанесение паропроницаемой штукатурки в 2 слоя общей толщиной 5 см	м ²	132	550	350	118800	130768
Итого:							589793
Итого за м ² :							5898
<p>Экономические расчеты проведены на примере условного одноэтажного дома, габариты которого составляют 10 x 10 метров. Площадь, соответственно, 100 м², высота этажа – 3,3 метра. Оконные и дверные проемы, а также необходимость локального армирования в некоторых вариантах устройства стеновых конструкций в целях упрощения расчета не учитываются.</p> <p>Количество блоков на один ряд кладки: $(a + b) * 2 / L_{\text{блока}} = 40 / 0,625 = 64$ шт.;</p> <p>Количество рядов: $H / (h_{\text{блока}} + h_{\text{р-ра}}) = 3,3 / (0,25 + 0,012) = 12,6 = 13$ рядов.</p> <p>Количество блоков всего: $64 * 13 = 832$ шт.</p> <p>Переводя в кубатуру, получим: $832 * 0,625 * 0,3 * 0,25 = 39$ м³.</p> <p>Общая площадь фасада: $H * (a + b) * 2 = 3,3 * 40 = 132$ м².</p>							

Таблица 4

Теплотехнические и экономические показатели
стеновых строительных конструкций

№	Параметр	Стеновая конструкция			
		Газобетон D400; B2,5; толщиной 300 мм на цементно-песчаном растворе, в качестве тепло-изоляционного слоя: минеральная вата толщиной 50 мм и плотностью 80 кг/м ³ , легкая паропроницаемая штукатурка в 2 слоя по сетке	Крупноформатная пустотелая керамика толщиной 300 мм на теплом растворе + минеральная вата толщиной 100 мм и плотностью 80 кг/м ³ + легкая паропроницаемая штукатурка в 2 слоя	Пустотелый кирпич (1,5 ряда, общей толщиной 380 мм) + минеральная вата толщиной 100 мм и плотностью 80 кг/м ³ + облицовочный кирпич	Каркасная технология (полная сборка на площадке), толщина утеплителя 200 мм плотностью 80 кг/м ³ + сплошная обрешетка для крепления наружной облицовки стены
1	2	3	4	5	6
1	Сопrotивление теплопередаче, (м ² *°C)/Вт	3,93	4,56	3,6	4,92

1	2	3	4	5	6
2	Потери тепла через 1 м ² за отопительный сезон, кВт*ч	27,69	23,89	28,24	22,2
3	Потери тепла через 1 м ² за 1 час при температуре самой холодной пятидневки, Вт*ч	11,19	9,65	11,41	9,15
4	Стоимость за 1 м ² , руб.	5898	9503	9449	5180

На основании вышеизложенных показателей и характеристик, формируем сводную таблицу 5, определяя балл по каждому критерию для пяти рассматриваемых стеновых конструкций, производим вычисления итогового рейтингового балла.

Таблица 5

Определение итогового рейтингового балла вариантов устройства стеновых строительных конструкций

№	Критерий	Стеновая конструкция (балл за критерий), (0-100)			
		Газобетон D400; B2,5; толщиной 300 мм на цементно-песчаном растворе, в качестве теплоизоляционного слоя: минеральная вата толщиной 50 мм и плотностью 80 кг/м ³ , легкая паропроницаемая штукатурка в 2 слоя по сетке	Крупноформатная пустотелая керамика толщиной 300 мм на теплом растворе + минеральная вата толщиной 100 мм и плотностью 80 кг/м ³ + легкая паропроницаемая штукатурка в 2 слоя	Пустотелый кирпич (1,5 ряда, общей толщиной 380 мм) + минеральная вата толщиной 100 мм и плотностью 80 кг/м ³ + облицовочный кирпич	Каркасная технология (полная сборка на площадке), толщина утеплителя 200 мм плотностью 80 кг/м ³ + сплошная обрешетка для крепления наружной облицовки стены
1	2	3	4	5	6
1	Стоимость	70	60	60	75
2	Механические свойства	80	85	85	78
3	Физические свойства	69	77	56	80
4	Долговечность	55	68	68	65
5	Эстетичность	65	65	65	63

1	2	3	4	5	6
6	Экологичность	74	77	77	72
7	Скорость возведения	61	59	50	58
8	Квалификация рабочих	80	70	70	74
9	Ремонтопригодность	71	71	70	65
10	Удобство внутренней отделки	77	75	75	78
11	Итоговый рейтинговый балл	69,02	69,22	64,82	72,12
<p>Расчет производится с учетом веса каждого критерия и показателя балла по данному параметру для каждой конструкции. Весовое значение критериев, определенное в табл. 1, продублировано ниже в порядке, соответствующему порядку перечисления критериев в табл. 1, 5: 25,0; 5,5; 17,5; 12,0; 6,0; 10,5; 7,5; 6,0; 5,0; 5,0.</p> <p>Пример расчета для варианта № 1: $(70 * 25 + 80 * 5,5 + 69 * 17,5 + 55 * 12 + 65 * 6 + 74 * 10,5 + 61 * 7,5 + 80 * 6 + 71 * 5 + 77 * 5) / 100 = 69,02.$</p>					

Анализ показал, что наиболее оптимальные решения относятся к вариантам 4, 2, 1.

Список литературы

1. Многокритериальный отбор: рафинирование модели URL: http://www.inesnet.ru/wp-content/mag_archive/2016_05/es2016-05-160-173_Saltykov_Rysiaeva.pdf (дата обращения: 15.11.2020).
2. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293799/4293799306.pdf> (дата обращения: 15.11.2020).
3. СанПиН 2.1.2.2645-10 Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293820/4293820246.htm> (дата обращения: 15.11.2020).
4. Палёха К.О. Техничко-экономический анализ применения стеновых материалов в малоэтажном строительстве // Сборник статей магистрантов и аспирантов. Т. 2. Вып. 3. СПб.: СПбГАСУ, 2020. С. 354-375.

ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНОЕ ПОЛИМЕРНОЕ ПОКРЫТИЕ, НАНЕСЕННОЕ В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Пиксина Анастасия Павловна

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., Россия
e-mail: a.piksina@mail.ru*

***Аннотация.** Актуальность темы заключается в том, что декоративные покрытия получили масштабное применение в различных сферах. Полимерные покрытия технологичны при нанесении на подложку, характеризуются достаточной долговечностью и дизайном. Процесс нанесения полимерных составов на поверхность металлических изделий изучен не достаточно хорошо. Внешняя отделка зданий является важной частью строительно-монтажных работ и архитектурного дизайна, цель которого – создание презентабельного облика сооружений и решение практических задач. Сегодня приобретает все бóльшую популярность вентилируемый фасад, он становится не только функциональным элементом, но и частью декоративной отделки дома. В качестве облицовочных применяют самые разнообразные материалы, и этот список постоянно расширяется: цементно-волокнистые материалы, бумажно-слоистый пластик высокого давления, также возможно использование стекла со специальным покрытием, стемалитов.*

***Ключевые слова:** вентилируемые фасады, декорирование, технологии декорирования, методы нанесения покрытия*

PROTECTIVE DECORATIVE POLYMER COATING, APPLIED IN AN ELECTROSTATIC FIELD

Piksina Anastasia Pavlovna

*Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia
e-mail: a.piksina@mail.ru*

***Abstract.** The relevance of the topic lies in the fact that decorative coatings are widely used in various fields. Polymer coatings are technologically advanced when applied to a substrate, have sufficient durability and designs. The process of applying polymer compositions to the surface of products is not well understood. Exterior decoration of buildings is an important part of construction and architectural works and architectural design, the purpose of which is to create a presentable appearance of buildings and solve practical problems. Today, the ventilated facade of a monolithic house is gaining popularity. The ventilated facade becomes not only a functional element, but also part of the decorative decoration of the house. For decorating facades, it is possible to use colored opaque panels made of stemalites.*

***Keywords:** ventilated facades, decoration, decoration technology*

Защитные и декоративные пленки используются для придания стеклу специальных свойств. Защитная пленка представляет собой прозрачную полимерную основу с нанесенным на нее методом спаттеринга или в процессе теплового вакуумного напыления специального слоя металлов (титан, медь, нержавеющая сталь и т. д.). С другой стороны пленка имеет клеящий состав, обеспечивающий молекулярное сцепление со стеклом.

Спаттерное наложение – это процесс нанесения пленки из практически любого материала толщиной в атом на любую поверхность. Сочетание толстых и тонких слоев составляет сложную многослойную структуру. Данная технология позволяет создавать защитные (или солнцезащитные) пленки из любого количества слоев и из любых материалов. Атомные смеси, даже не известные до настоящего времени, могут быть и неоднородными по составу, если атомы различных материалов бомбардируются одновременно. Процесс спаттеринга – поистине революционный, он позволяет получать кристально прозрачную пленку, дающую естественный, без видимых искажений, обзор.

Высококачественные материалы и сплавы, используемые в данном процессе, делают пленку более прочной, малоизнашиваемой и исключают потенциальную деметаллизацию, которой подвержены пленки предыдущих поколений.

После металлизации методом спаттеринга рулон пленки регистрируется в компьютере, заворачивается в полиэтилен для предотвращения попадания на пленку пыли и доставляется в цех склейки. После нанесения клеящего вещества пленка просушивается до полного испарения растворителя. Затем на нее наклеиваются дополнительные слои – либо прозрачной пленки для усиления, либо тонированной пленки для придания нужного тона, либо защитной антицарапинной пленки. Процесс наклеивания слоев контролируется лазерным сканером для обнаружения мельчайших посторонних частиц.

Выпускаются как бесцветные (прозрачные), так и тонированные (затемненные) защитные пленки. Все пленки снабжены защитным покрытием от царапин. Защитную пленку можно чистить любым моющим средством для стекла. Толщина пленок – от 112 до 380 мкм.

Наклеивается непосредственно на внутреннюю поверхность стекла. Наклеенная квалифицированными специалистами пленка неразличима на стекле и образует с ним единое целое.

Основными функциями защитных пленок при нанесении на стеклянную поверхность являются: увеличение ударопрочности, придание свойств безопасного стекла, термоизоляция, защита от ультрафиолетового излучения, увеличение огнестойкости, шумозащита, тонирование, защита информации, УФ-защита, придание стеклу односторонней видимости.

Пленки толщиной 112 микрон и более в комплексе со стеклом способны выдерживать ударные нагрузки различной силы. Пленки толщиной 112 и 200 микрон предназначены в основном для защиты от хулиганских действий. Они в состоянии выдерживать удар небольшим предметом типа бутылки, куска льда, камня, и т. п. Пленки толщиной 225 микрон и выше предназначены для того, чтобы свести возможность проникновения в помещение к нулю (даже с использованием специальных приспособлений: молоток, топор, стальной прут и т. п.). Стекло толщиной 4 и 5 мм с пленкой толщиной 300 мкм сертифицировано Госстандартом России по классу защиты А1, с комплектом пленок общей толщиной 300 мкм 412 мкм – по классу защиты А2 и общей толщиной 680 мкм – по классу защиты А3.

Даже имеющие незначительную толщину пленки позволяют сделать стекло безопасным. Разбитое стекло не рассыпается на осколки, а остается на пленке. На этом эффекте основано применение пленок для защиты от вторичных осколков, возникающих в случае обстрела бронестекла и в случае разрушения взрывной волной обычных стекол.

Пленки с металлическим напылением обладают способностью отражать инфракрасные (тепловые) лучи, что позволяет избегать перегрева помещений в жаркое время (часть тепловой энергии солнечного излучения отражается стеклом) и уменьшать теплопотери зимой (препятствуя передаче тепла через окно). Применение этих пленок снижает теплопотери на 20-40 %.

Солнцезащитная пленка отфильтровывает до 99 % ультрафиолетового излучения, причем ультрафиолетовые лучи успешно поглощаются не только тонированными, но и прозрачными пленками. При нанесении на стекло защитная пленка образует огнестойкую композицию, что было продемонстрировано на испытаниях во ВНИИ противопожарной обороны МВД России. Локализованный таким образом пожар, безусловно, принесет значительно меньший ущерб.

В случае необходимости эвакуации из горящего помещения стекло довольно легко разбивается изнутри.

Благодаря зеркальным свойствам некоторых типов напыления возможен эффект односторонней просматриваемости. Это, в свою очередь, (сохраняя свободный просмотр через стекло изнутри) практически полностью (либо полностью) устраняет возможность просматривания снаружи при условии, что уровень освещения внутри помещения будет или равен уровню освещения снаружи, или будет его чуть превышать.

Защитные и декоративные пленки представлены на российском рынке рядом фирм. Наибольшее распространение получила продукция фирмы «СОЛАР ГАРД», которая является первым производителем и распространителем защитных пленочных покрытий, начавшим работу на рынках России, стран Балтии и СНГ.

Вещества в твердом состоянии при обычной температуре и давлении могут иметь кристаллическое или аморфное строение. В природе наиболее распространены кристаллические твердые вещества, для структуры которых характерен геометрически строгий порядок расположения частиц (атомов, ионов) в трехмерном пространстве. Кристаллическое состояние является стабильным при обычных условиях и характеризуется наиболее низкой внутренней энергией. Твердые кристаллические вещества имеют четкие геометрические формы, определенные температуры плавления, в большинстве случаев проявляют анизотропию, т. е. их физические свойства (показатель преломления, теплопроводность, скорости растворения и роста кристаллов и др.) неодинаковы при измерении в различных направлениях.

Стеклообразное состояние вещества представляет собой аморфную разновидность твердого состояния. Стеклообразное состояние является метастабильным, т. е. характеризуется избытком внутренней энергии. Пространственное расположение частиц вещества, находящегося в стеклообразном состоянии, является неупорядоченным, что подтверждается результатами рентгеноструктурных исследований.

Согласно законам химической термодинамики, переход веществ из стеклообразного состояния в кристаллическое должен осуществляться самопроизвольно, однако высокая вязкость твердых веществ делает невозможным поступательное движение частиц, направленное на перестройку структуры.

В твердых телах частицы совершают только колебательные движения относительно положения равновесия.

Строение стекла

Физические свойства веществ зависят от их состава и строения. Строение стекол является одним из разделов единой проблемы строения вещества. В связи с этим необходимо подчеркнуть, что современные представления о строении стекла базируются на фундаментальных положениях теоретических разделов неорганической и физической химии, кристаллохимии, химии и физики твердого состояния и, кроме того, включают идеи и обобщенные положения отдельных гипотез строения стекла, основу которых составляют эмпирические зависимости свойств от состава и строения.

Отсутствие прямых методов исследования аморфных веществ, способов плоскостного изображения объемно неупорядоченных структур пока не позволяет создать завершенную теорию строения стекла.

Состав полимерного защитно-декоративного покрытия

Полимерные покрытия в настоящее время являются достаточно популярным лакокрасочным материалом. В лакокрасочной промышленности они появились сравнительно давно. Однако настоящим прорывом в данной области было создание порошковых полимеров, которые отли-

чаются своим необычайным качеством покрытия и долговечностью. Данные покрытия в сравнении с остальными синтетическими полимерами являются более молодыми на рынке лакокрасочной продукции.

На сегодняшний день порошковые полимерные покрытия в силу своих уникальных свойств применяются практически в каждой сфере человеческой деятельности. Особенно популярными они являются при окрашивании различных металлических поверхностей, в том числе металлочерепицы, лодок, а также автомобилей. Такая популярность обусловлена высокими защитными свойствами полимерного покрытия, которым покрытия обязаны своими составляющими компонентами.

Практически все составы полимерных покрытий содержат основное связующее вещество, которое состоит из основы и отвердителя.

Свойства полимерного покрытия

Высокие адгезионные свойства. Полимерные покрытия имеют свои особенности во время их нанесения, в связи с которыми они не просто покрывают поверхность, а проникают в нее, т. е. связываются с поверхностью.

Устойчивость к воздействию влажной среды. Это свойство позволяет использовать полимерное покрытие для окрашивания поверхностей, которые поддаются негативному воздействию воды: крыши домов, фасады зданий, постоянно находящиеся под открытым небом. Даже при постоянном воздействии влаги на покрытие оно не теряет своих качеств.

Устойчивость к воздействию ультрафиолета. Как известно, практически все существующие на сегодняшний день краски со временем портятся под постоянным воздействием солнечных лучей. Они выгорают, начинают лущиться и т. д., чего нельзя сказать о полимерных покрытиях, которые способны постоянно находиться на открытом солнце, при этом совершенно не меняя своих качеств.

Устойчивость к воздействию на краску высокими температурами. В связи с тем, что окрашивание предметов данным типом краски осуществляется именно при высоких температурах, впоследствии краска не поддается воздействию высоких температур, в том числе и открытого огня, что дает возможность наносить ее на те предметы, которые имеют непосредственный контакт с открытым огнем. К таким предметам относятся мангалы, печные котлы и др.

Устойчивость к воздействию агрессивной щелочной среды, а также к любым химикатам, в том числе и растворителям. Данную краску невозможно повредить, используя растворители или любые другие химические вещества. Таким образом, можно специально поместить окрашенный предмет в агрессивную химическую среду и убедиться в том, что на качестве покрытия это никак не отразится, причем вне зависимости от того, какое количество времени краска будет находиться под агрессивным воздействием.

Полимерные покрытия

Все перечисленные свойства являются также и преимуществами данной краски, которые показывают, что качество полимерного покрытия чрезвычайно высоко. Оно является уникальным материалом, практически вечным, который способен надежно защитить на протяжении всего срока эксплуатации окрашенное изделие от высоких температур, коррозии и многого другого.

Однако несмотря на то, что порошковые покрытия кажутся, на первый взгляд, идеальными, они также имеют и свои определенные недостатки, к которым относятся:

– высокая стоимость покрытия. Конечно же, не всегда есть крупная сумма сразу, особенно если лакокрасочного материала требуется большое количество. Однако при учете, что покраска будет произведена раз и навсегда, что избавляет от периодического перекрашивания предметов, высокая цена представляется и не такой высокой. Тем более что окупается полимерное покрытие уже в первые несколько лет эксплуатации изделия;

– проблематичное удаление покрытия. В связи с тем, что покрытие не поддается воздействию различных химикатов, а, кроме этого, проникает в окрашиваемый материал, просто стереть или соскрести данный лакокрасочный материал невозможно. В настоящее время не придуманы еще специальные смывки для подобных покрытий. Таким образом, если просто надоел цвет и есть желание его поменять, поскольку другие причины замены покрытия отсутствуют, то придется краску удалять механическим путем. А данное занятие занимает много времени и требует наличия специальных механических инструментов;

– отсутствие возможности самостоятельного нанесения покрытия. Поскольку полимерные краски наносятся под воздействием высоких температур, это предполагает наличие специального оборудования, которое есть только у специалистов, занимающихся соответствующей окраской. Таким образом, пытаться нанести самостоятельно краску на поверхность не стоит, так как материал будет израсходован впустую, желаемый результат не будет получен, в результате чего будут только выброшенные деньги на ветер.

Способы нанесения покрытия

Ручное нанесение. Как правило, краска наносится вручную в случае, когда объем покраски небольшой во избежание перерасхода краски, потому что при загрузке краски в валковую машину требуется полная загрузка отсека для краски. При ручной покраске можно избежать характерной полосистости краски на просвет, но производительность

нанесения сильно падает. Как правило, ручным нанесением окрашивают менее 10 м² стекла.

Валковая (машинная) покраска. Такой способ нанесения краски используется при любых окрашиваемых площадях, окраска идет очень быстро и качественно, а большие объемы стекла можно покрасить за считанные дни.

Покраска через сетку (шелкография). Данный способ покраски используется, когда стоит задача в том, чтобы стекло было окрашено не полностью, а лишь какая-то его часть. В таком случае изготавливается специальная рама, в которую вставляется шелкографическая сетка. Сетка не дает возможности краске попасть в те места, куда она не должна попасть, идет окраска лишь конкретно обозначенных мест. Такой способ покраски характерен при изготовлении стекол от 100 штук, поскольку для небольшого количества стекол придется покупать раму, что достаточно дорого. А при большом количестве стоимость рамы размывается в цене квадратного метра, и цена становится достаточно приятной.

Цифровая печать. Изображение наносится специальным принтером с последующей закалкой.

Ультрафиолетовая печать. УФ-краска не впекается в структуру стекла и подвержена царапанию.

Печать стеклокерамикой. В основе краски – растворенное стекло. Стандартная окраска: окраска уже после закаливания.

Существуют несколько методов нанесения порошковых полимерных материалов: в псевдооживленном слое, в электрическом поле, сочетанием двух первых методов, газопламенным и плазменным напылением и другими. Возможно также нанесение порошковых материалов на поверхность изделия, предварительно покрытую клейким веществом. Основными промышленными методами нанесения порошковых полимерных материалов являются нанесение в псевдооживленном слое, в электрическом поле и газопламенное напыление.

В электростатическом поле можно с высокой экономичностью наносить порошковые материалы на изделия, предназначенные не только для декоративных целей, но и для работы в агрессивной среде.

Химическое нанесение металлопокрытия – образование покрытия на поверхности металлических изделий за счет осаждения ионов металла из водного раствора хлорида металла без применения электрического тока от внешнего источника. Используют для покрытия бронзой, латунью, кадмием, медью, золотом, никелем, оловом и другими металлами.

Электролитическое, или гальваническое, нанесение металлопокрытий – осаждение металла с образованием покрытия на поверхности стекла при пропускании электрического тока в гальванической ванне между полюсами источника, один из которых является металлом, наносимым на изделие, а второй – обрабатываемым изделием, с целью декорирования и повышения износ- и коррозионной стойкости изделий. На

изделия наносятся как чистые металлы (кадмирование, хромирование, меднение, никелирование, золочение, серебрение, родирование, палладирование и др.), так и сплавы.

Физические способы нанесения. Окунание или нанесение горячего металлопокрытия погружением – образование покрытия путем погружения металлического изделия в ванну расплавленного металла (Zn, Sn, Pb).

Диффузионное насыщение поверхностного слоя изделия металлом или сплавом происходит при высокой температуре с использованием насыщающего состава, основным компонентом которого являются металл, сплав или металлическое соединение в порошкообразной или пастообразной форме (цинкование, алитирование, хромирование, сульфидирование), проводится в декоративных целях и для повышения износостойкости изделий.

Вакуумное осаждение (конденсационное напыление) – нанесение слоя путем осаждения атомов или молекул металла или металлического соединения на поверхность изделия при их возгонке в условиях высокого вакуума (остаточное давление – 13,3-1,3 МПа) в декоративных целях (для повышения оптических свойств поверхности изделий, в частности улучшения металлического блеска) и для придания изделиям определенных свойств.

Покрытие формируется из потока частиц, находящихся в атомарном, молекулярном или ионизированном состоянии. Для получения потока пара (частиц) используют различные источники энергетического воздействия на материал. Различают формирование потока частиц посредством термического испарения материала, ионного распыления или взрывного испарения – распыления. Соответственно этому вакуумное конденсационное напыление разделяют на методы: ионно-плазменное напыление (при ионизации потока напыляемых частиц), вакуумное конденсационное напыление (при введении в поток реактивного газа).

В заключение можно сказать, что на сегодняшний день, декорирование строительного стекла, керамических плиток полимерными материалами на основе высокодисперсных связующих полимеризационного типа требует проведения исследований по оценке степени адгезионного взаимодействия на границе раздела фаз с учетом поверхностных свойств подложки, технологических параметров нанесения в электростатическом поле, показателей долговечности покрытия.

Список литературы

1. СП 48.13330.2011. Организация строительного производства.
2. СП 12-135-2003. Безопасность труда в строительстве.
4. Володин В.П., Корытов Ю.Л. ТК на монтаж вентилируемого фасада с облицовкой композитными материалами. М., 2006.

ТВЕРДЕНИЕ БЕТОНОВ НА ГИДРОМЕХАНОХИМИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННОМ ВЯЖУЩЕМ ПРИ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКЕ

Пименов Сергей Иванович

Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Россия

e-mail: sergeypimenov12@yandex.ru

Аннотация. Изучено влияние тепловой обработки на кинетику твердения тяжелого бетона, приготовленного на гидромеханохимически активированном вяжущем. Представлены результаты кинетики набора прочности бетонов при различном расходе цемента (300...500 кг на 1 м³) в составе бетона и различной температуры изотермической выдержки (30...80° С). Выявлены условия по расходу цемента и температуре изотермической для получения в первые сутки отпускной прочности бетонов, как при сокращении тепловой обработки, так и полностью без нее.

Ключевые слова: тепловая обработка, гидромеханохимическая активация, цементная суспензия, Реламикс Т-2, тяжелый бетон

HARDENING OF CONCRETES ON A HYDROMECHANOCHEMICALLY ACTIVATED BINDER DURING HEAT TREATMENT

Pimenov Sergey Ivanovich

Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia

e-mail: sergeypimenov12@yandex.ru

Abstract. The effect of heat treatment on the kinetics of hardening of heavy concrete prepared on a hydromechanochemically activated binder has been studied. The results of the kinetics of concrete strength gain are presented at various cement consumption (300 ... 500 kg per 1 m³) in the composition of concrete and at different temperatures of isothermal holding (30 ... 80°C). The conditions for the consumption of cement and isothermal temperature for obtaining the tempering strength of concrete on the first day, both with a reduction in heat treatment, and completely without it, have been identified.

Keywords: heat treatment, hydromechanochemical activation, cement slurry, Relamix T-2, heavyweight concrete

С целью ускорения твердения бетона и достижения им распалубочной и отпускной прочности проводится тепловая обработка сборных бетонных и железобетонных изделий. Под отпускной прочностью бетона изделий понимается такая нормируемая прочность бетона, при которой изделие разрешается отпускать и отгружать с завода потребителю.

Отпускная прочность тяжелого бетона согласно ГОСТ 13015.0 должна быть не менее 70 %. В проведенных ранее исследованиях получе-

ны результаты, обуславливающих ускорение набора прочности тяжелого бетона в ранние сроки твердения [1-4].

В связи с получением цементных бетонов с высоким темпом набора прочности на основе гидромеханохимически активированного вяжущего [4-6], интерес представляет разработка беспропарочной технологии производства сборных бетонных и железобетонных изделий, которая позволит сократить энергозатраты на тепловую обработку.

Проведены исследования влияния расхода цемента и температуры изотермической выдержки при тепловой обработке на кинетику твердения тяжелого бетона, приготовленного на основе гидромеханохимически активированного цемента с добавкой Реламикс Т-2.

Расход сырьевых компонентов для приготовления бетонных смесей принимался в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1

Расход сырьевых компонентов бетонных смесей								
Расход сырьевых компонентов на 1 м ³ бетонной смеси:								
При расходе цемента:								
300 кг			400 кг			500 кг		
Ц	П	Щ	Ц	П	Щ	Ц	П	Щ
300	612	1448	400	588	1378	500	565	1308

В качестве вяжущего материала применялся портландцемент со шлаком марки ЦЕМ II/A-Ш 32,5Н производства ЗАО «Ульяновскцемент». Применение цемента с активной минеральной добавкой для последующей активации не вызывают сомнений в применении, поскольку повышают свою роль в структурообразовании цементного камня и повышении физико-механических свойств [7-11].

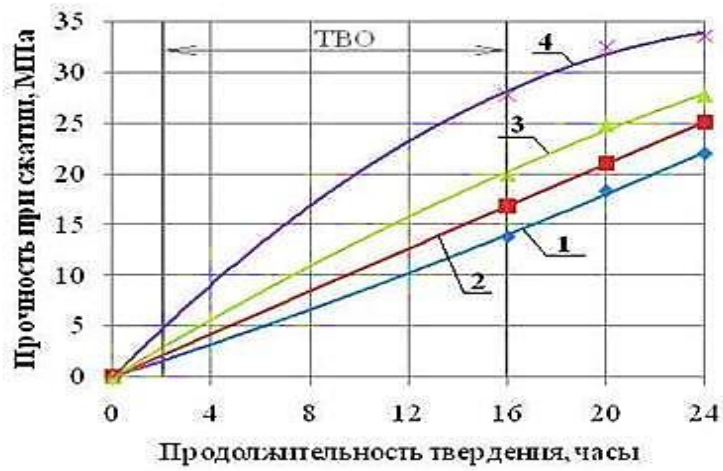
Активацию цемента в водной среде проводили в роторно-пульсационном аппарате, выпускаемом по ТУ 5132-001-70447062.

Количество воды затворения применялось для получения одинаковой подвижности бетонной смеси марки П2 (О.К.= 5-9 см).

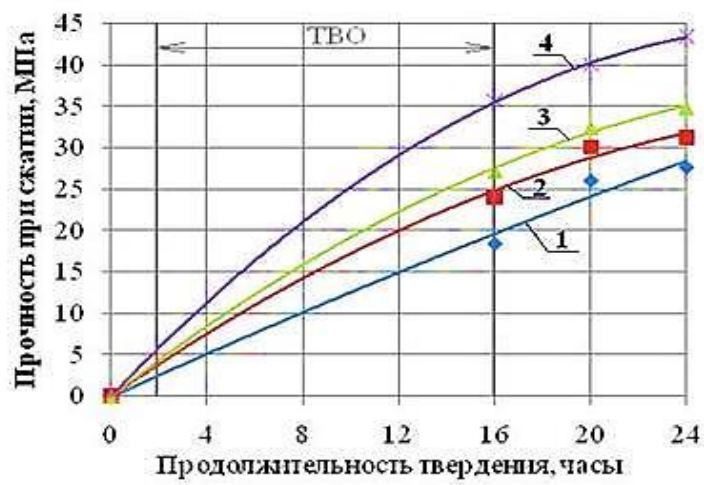
Реламикс Т-2 – суперпластифицирующая добавка, производимая компанией ООО «Полипласт» по ТУ 5870-002-14153664-04.

Тепловая обработка производилась по следующему режиму: первые два часа – выдержка, далее два часа – подъем температуры, затем десять часов – изотермическая выдержка, и два часа – охлаждение. При этом в исследовании изотермическая выдержка производилась при следующих температурах: 30, 40 и 80° С. После тепловой обработки и хранения в нормально-влажностных условиях через 16, 20, 24 ч образцы-кубы размерами 10 x 10 x 10 см подвергались механическим испытаниям.

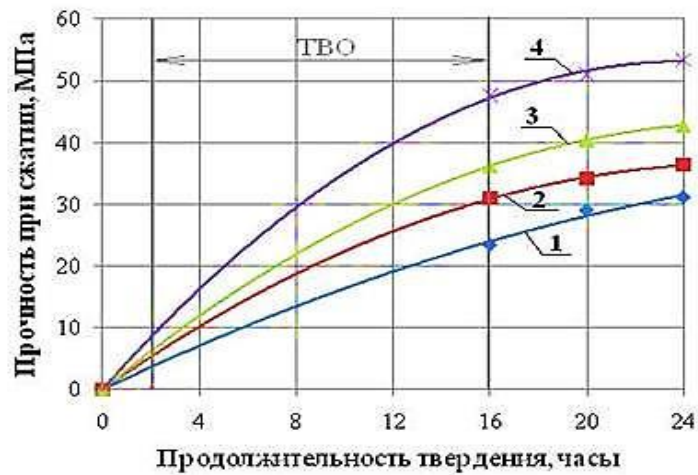
На рис. 1-3. представлена зависимость кинетики твердения тяжелого бетона при расходе цемента 300 кг/м³ (рис. 1, а), 400 кг/м³ (рис. 1, б), 500 кг/м³ (рис. 1, в) соответственно.



а



б



в

Рис. 1. Кинетика твердения тяжелого бетона, приготовленного на гидромеханохимически активированном вяжущем, при температуре изотермической выдержки: 1– 22° С (нормально-влажностное твердение); 2 – 30° С; 3 – 40° С; 4 – 80° С

По данным рис. 1А. видно, что при увеличении температуры изотермической выдержки от 30° С до 80° С через 16 ч предел прочности при сжатии увеличивается с 17,6 МПа до 27,5 МПа (в 1,56 раз), через 24 ч – с 25 МПа до 33,9 МПа (в 1,36 раз).

По данным рис. 1Б. видно, что при увеличении температуры изотермической выдержки от 30° С до 80° С через 16 ч предел прочности при сжатии увеличивается с 24,3 МПа до 35,8 МПа (в 1,47 раз), через 24 ч – с 31,3 МПа до 43,4 МПа (в 1,39 раз).

По данным рис. 1В. заметно, что при увеличении температуры изотермической выдержки от 30° С до 80° С через 16 ч предел прочности при сжатии увеличивается с 30,3 МПа до 47,3 МПа (в 1,56 раз), через 24 ч – с 36,2 МПа до 53,1 МПа (в 1,47 раз).

Научный и практический интерес представляет сокращение продолжительности изотермической выдержки для получения бетонов с равной прочностью. Для эксперимента было выбрано время изотермической выдержки 2, 6 и 10 ч.

Температура изотермической выдержки составила 80° С. Результаты исследования приведены на рис. 2.

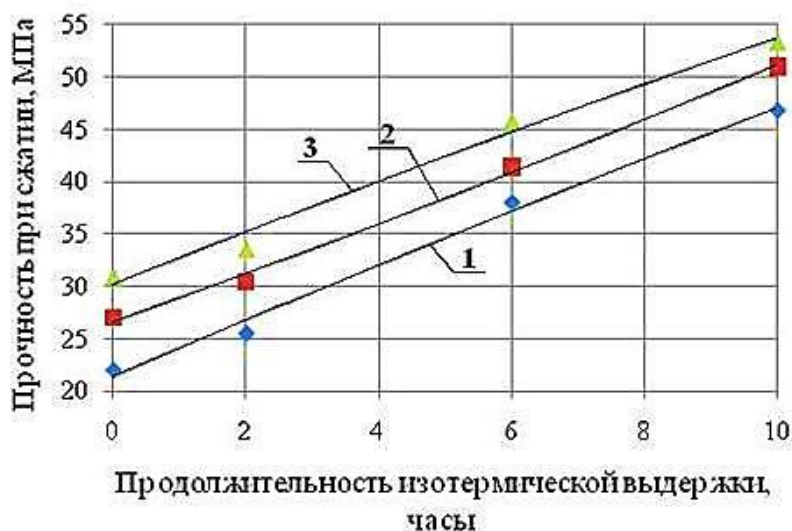


Рис. 2. Зависимость прочности при сжатии тяжелого бетона, полученного на основе гидромеханохимически активированного вяжущего с добавкой Реламикс Т-2, от продолжительности изотермической выдержки при расходе цемента на 1 м³ бетонной смеси: 1 – 300 кг, 2 – 400 кг, 3 – 500 кг

По данным рис. 1-2 составлена таблица 2, в которой приведены условия достижения отпускной прочности тяжелых бетонов в первые сутки твердения.

Условия достижения отпускной прочности тяжелых бетонов, полученных на гидромеханохимически активированном вяжущем с добавкой Реламикс Т-2, в первые сутки твердения

№ п/п	Класс бетона	Отпускная прочность бетона (70 % марочной прочности), МПа	Расход цемента, кг на 1 м ³ бет. смеси	Время изотермической выдержки при 80° С, ч
1	B25	22,92	350	–
2	B27,5	25,21	400	–
3	B27,5	25,21	300	2
4	B30	27,51	400	–
5	B30	27,51	300	3
6	B35	32,09	300	5
7	B35	32,09	400	3
8	B35	32,09	500	1
9	B40	36,67	300	6
10	B40	36,67	400	5
11	B40	36,67	500	3
12	B45	41,23	300	8
13	B45	41,23	400	6
14	B45	41,23	500	5
15	B50	45,78	300	10
16	B55	50,42	400	10
17	B55	50,42	500	9

По данным табл. 2 видно, что бетон, приготовленный на гидромеханохимически активированном вяжущем с добавкой Реламикс Т-2, набирает отпускную прочность (70 % марочной) в первые сутки твердения, как при сокращении тепловой обработки, так и вовсе без ее применения.

По разработанному способу приготовления бетонной смеси при увеличении продолжительности изотермической выдержки (от 0 до 10 ч) и расхода цемента (от 300 до 500 кг/м³) возможно получать отпускную прочность бетонов класса по прочности от В25 до В55 в первые сутки, при применении портландцемента рядовой марки ЦЕМ II/A-III 32,5Н Ульяновского завода.

Список литературы

1. Пименов С.И. Влияние гидромеханохимической активации цементной суспензии на физико-механические свойства тяжелого бетона / С.И. Пименов, Р.А. Ибрагимов, В.С. Изотов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2014. – № 11 (671). – С. 16-21.
2. Пименов С.И. Влияние гидромеханохимической активации цемента на физико-технические свойства цементных композиций // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов. Материалы XIII Международной научно-технической конференции молодых ученых, посвященной памяти профессора В.И. Калашникова. 2018.

3. Пименов С.И. Особенности структурообразования цементного камня после гидромеханохимической активации цемента / С.И. Пименов // Научный журнал строительства и архитектуры. 2019. № 2 (54). С. 77-88.
4. Pimenov S.I. Features of the structure formation of a cement stone after hydromechanochemical activation of cement / S.I. Pimenov // Russian journal of building construction and architecture. No 3(43). 2019. Pp. 46-58.
5. Pimenov S.I. Heavyweight concrete based on hydromechanochemically activated binder // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 890. doi:10.1088/1757-899X/890/1/012098.
6. Мухаметрахимов Р.Х. Механоактивированное гипсоцементно-пуццолановое вяжущее на основе модифицированного низкомарочного сырья / Р.Х. Мухаметрахимов, А.Р. Галаутдинов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2018. – № 1 (43). – С. 187-195.
7. Коровкин М.О. Повышение эффективности суперпластификаторов в бетонах с низким расходом цемента / М.О. Коровкин, Д.М. Гринцов / Региональная архитектура и строительство. – 2017. – № 3 (32). – с. 84-87.
8. Мухаметрахимов Р.Х. Роль активных минеральных добавок природного происхождения в формировании структуры и свойств гипсоцементно-пуццоланового вяжущего / Р.Х. Мухаметрахимов, А.Р. Галаутдинов // Вестник Технологического университета. – 2017. – № 6. – С. 60-63.
9. Патент РФ 2519313 С1. Комплексная добавка / В.С. Изотов, Р.Х. Мухаметрахимов, А.Р. Галаутдинов. Заявл. 29.01.2013. Опубл. 10.06.2014. Бюл. № 16.
10. Галаутдинов А.Р. Повышение водостойкости гипсоцементно-пуццоланового вяжущего на основе низкомарочного гипса / А.Р. Галаутдинов, Р.Х. Мухаметрахимов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2016. – № 4 (38). – С. 333-343.
11. Мухаметрахимов Р.Х. Гипсоцементно-пуццолановое вяжущее на основе низкомарочного сырья и отходов промышленности / Р.Х. Мухаметрахимов, А.Р. Галаутдинов // Вестник Технологического университета. – 2016. – № 24. – С. 56-59.

УДК 691.3

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ДОБАВКИ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ В СОСТАВАХ НА ОСНОВЕ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ

Поляков Андрей Владимирович

Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А., Россия

e-mail: polyakovsgtu@mail.ru

***Аннотация.** Рассмотрены вопросы образования отрицательно заряженных активных центров на поверхности гипса в процессе его термической обработки, эффективность действия суперпластификаторов в зависимости от заряда поверхности наполнителей. Сделан вывод о целесообразности применения в гипсовых вяжущих катионактивных поверхностно-активных веществ.*

***Ключевые слова:** гипсовые вяжущие, активные центры, поверхностно-активные вещества*

PERSPECTIVE ADDITIVES OF POLYFUNCTIONAL ACTION IN COMPOSITIONS BASED ON GYPSUM BINDERS

Polyakov Andrey Vladimirovich

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

e-mail: polyakovsgtu@mail.ru

***Abstract.** The issues of the formation of negatively charged active centers on the surface of gypsum during heat treatment, the effectiveness of the action of superplasticizers depending on the charge of the surface of the fillers are considered. It is concluded that it is advisable to use cationic surfactants in gypsum binders.*

***Keywords:** gypsum binders, active centers, surfactants*

Материалы и изделия на основе гипсовых вяжущих получили широкое распространение на строительном рынке Российской Федерации. Несмотря на сложную экономическую обстановку, объемы производства гипса в России за период с 2012 по 2020 год (по данным Российской гипсовой ассоциации) увеличились с примерно 5000 тысяч тонн до 5644,3 тысяч тонн в год. При этом лидером является Приволжский федеральный округ, доля которого составила примерно 47,5 % от общего объема производства гипса.

В структуре потребления порядка 95 % составляет гипс строительного назначения. Известно, что на основе гипсовых вяжущих производится достаточно широкая номенклатура изделий и материалов строительного назначения: гипсокартонные и гипсоволокнистые листы, гипсостружечные плиты, пазогребневые плиты для перегородок, различные гипсовые блоки, сухие штукатурные и отделочные смеси. В производстве этих материалов и изделий используются добавки различного назначения: пластификаторы и суперпластификаторы, ускорители и замедлители твердения, водоудерживающие добавки, гидромодификаторы.

Большая часть этих добавок имеет импортное происхождение, что отражается на их стоимости, причем импортозамещение в этой области идет крайне медленно. Поэтому представляется целесообразным проведение исследований с целью разработки различных добавок (в том числе минеральных) полифункционального действия, регуляторов твердения и структурообразования гипсовых вяжущих и смешанных вяжущих на их основе.

Из литературных данных известно [1], что в процессе структурных преобразований двухводного гипса при его термической обработке на поверхности гипса и продуктов его обжига возникают и изменяются активные центры (дефекты структуры). Установлено, что дефекты структуры вызваны появлением в процессе обжига различных ион-радикалов, имеющих отрицательный заряд. Доказано влияние образовавшихся активных центров на структуру и свойства продуктов дегидратации гипса.

В исследованиях, проведенных другими авторами [2], выявлено, что разжижающая способность суперпластификаторов зависит от заряда поверхности, с которой они взаимодействует. При этом большинство известных добавок (70-80 %) относятся к анионоактивным поверхностно-активным веществам (ПАВ), тогда как более целесообразно применять пластификаторы, функциональные группы которых имеют разноименный заряд с поверхностью частиц вяжущего и заполнителя. Таким образом, можно предположить, что для гипсовых вяжущих эффективными могут оказаться пластификаторы на основе катионоактивных ПАВ, а также различные неионогенные добавки, имеющие положительный эффективный заряд функциональных групп.

Катионоактивные ПАВ представляют собой дифильные органические соединения, диссоциирующие в воде с образованием поверхностно-активного катиона и аниона, обычно галогенида, иногда аниона серной или фосфорной кислоты. Преобладающими среди катионных ПАВ являются азотсодержащие соединения, которые подразделяются на следующие основные группы:

- амины и их соли;
- моно – и бичетвертичные аммониевые соединения алифатической структуры;
- четвертичные аммониевые соединения с различными функциональными группами в гидрофобной цепи;
- моно- и бисчетверенные аммониевые соединения с атомом азота в гетероциклическом кольце. Эта группа объединяет сотни ПАВ, имеющих промышленное значение. Важнейшие из них – соединения пиридина, хинолина, фталазина, бензимидазола, имидазола, производные пирролидина.
- оксиды аминов;
- полимерные ПАВ (применяются в основном поливинилпиридинийгалогениды).

Катионоактивные ПАВ меньше снижают поверхностное натяжение воды, чем анионоактивные, но они могут взаимодействовать химически с поверхностью адсорбента.

Например, взаимодействие полярных групп катионоактивных ПАВ с гидроксильными группами волокон целлюлозы приводит к гидрофобизации волокон и импрегнированию тканей.

Катионоактивные ПАВ находят применение в качестве ингибиторов коррозии железа и стали, флотационных реагентов, компонентов синтетических моющих средств, антистатиков, при производстве химических волокон, в производстве асфальтобетонов, бактерицидных, дезинфицирующих и фунгицидных средств [3].

Таким образом, представляется перспективным изучение возможности использования катионоактивных ПАВ в качестве добавок полифункционального действия в составах на основе гипсовых вяжущих.

Список литературы

1. Алтыкис М.Г., Рахимов Р.З., Булка Г.Р., Морозов В.П., Бахтин А.И. О механизме структурных преобразований гипса при термической обработке // Известия вузов. Строительство. 1994, № 12 с. 59-64.
2. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М. О влиянии знака поверхностного заряда заполнителя на разжижающую способность суперпластификаторов // Известия вузов. Строительство. 2011, № 2, с. 22-26.
3. Ширяева Е.А., Ворончихина Л.О. О проблеме получения катионных поверхностно-активных веществ / Современные наукоемкие технологии. – 2007. – с. 102-103.

УДК 691.3

ПЕРСПЕКТИВЫ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ СОДОВОГО ПРОИЗВОДСТВА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Потрясова Екатерина Владимировна, Фомина Наталья Николаевна
*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., Россия*
e-mail: ev.potryasova@yandex.ru, fominanani@yandex.ru

Аннотация. Представлен анализ отечественных и зарубежных научно-исследовательских разработок и производственного опыта утилизации отходов содовой промышленности. Рассмотрен широкий спектр направлений переработки и использования твердых отходов содового производства.

Ключевые слова: отход содового производства, дистиллерная жидкость, содовое производство, минеральная добавка

PROSPECTS FOR DISPOSAL OF WASTE OF SODA PRODUCTION IN CONSTRUCTION

Potryasova Ekaterina Vladimirovna, Fomina Natalya Nikolaevna
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia
e-mail: ev.potryasova@yandex.ru, fominanani@yandex.ru

Abstract. The analysis of domestic and foreign research and development and production experience in the disposal of soda industry waste is presented. A wide range of areas of processing and use of solid waste of soda production is considered.

Keywords: soda production waste, distiller liquid, soda production, mineral additive

Производство соды является одной из важнейших промышленных отраслей. Сода применяется в металлургии, стекольном производстве, лакокрасочной промышленности, производстве моющих средств, в пищевой промышленности и других отраслях. Самым распространенным способом получения соды остается метод Сольве, его применяют 84 % заводов во всем мире. При своих преимуществах данный метод имеет существенный

недостаток – на каждую тонну соды образуется порядка 10 тонн побочного продукта – дистиллерной жидкости (ДЖ), включающей (согласно ИТС 19-2016) 2,5-3 тонны твердого отхода (ТОС). Радикальным решением проблемы накопления отходов, по мнению авторов [1], является организация рециклинга из ДЖ извести, в количествах, достаточных для регенерации аммиака.

В сочетании с дополнительной системой улавливания углекислого газа на смежных производствах и подачей его в содовое производство возможно полностью отказаться от использования природного известняка [1], но эта возможная концептуальная схема требует проведения дополнительных исследований. На действующих в настоящее время производствах отходы складировуют в шламонакопителях, которые являются неотъемлемыми спутниками предприятий по производству соды. Они занимают десятки квадратных километров и вмещают в себя миллионы тонн твердого отхода содового производства.

Периодически осуществляется сброс ДЖ в реки, происходит инфильтрация отходов в грунтовые воды, что приводит к засолению воды и почвы, а также повышению жесткости воды в реках [2]. Вследствие этого разработка (в соответствии с ГОСТ 33570-2015) наилучших доступных технологий утилизации ТОС крайне актуальна.

Цель данной работы – изучить имеющиеся отечественные и зарубежные научно-исследовательские разработки, а также производственный опыт утилизации отходов содовой промышленности.

ТОС большей частью состоит из карбоната кальция, включает сульфаты и гидроксиды кальция, оксиды кремния, железа, алюминия, соединения магния, а также до 8 % хлористых солей [3-5], и представляет собой увлажненный скомкованный порошок. Установлено [6], что ТОС можно применять в качестве стабилизатора кислотно-щелочного баланса почв, в этом аспекте он не уступает по свойствам известковой пыли и мелу, и часто превышает их эффективность. ТОС (в соответствии с ИТС 19-2016) может применяться в составе изолирующих материалов для полигонов твердых бытовых отходов. Для понижения класса опасности предложено [7] механическое обезвоживание. ТОС может использоваться в качестве стабилизатора кислых шахтных вод, образующихся при добыче каменного угля, его добавление позволило повысить pH с 2,6-2,9 до нейтральных значений [8]. ТОС содержит хлористые соли и может применяться как антигололедная добавка [7]. Также он может быть сырьем для получения оксидов магния [9]. В [10] показано возможное применение ТОС в качестве добавки-минерализатора в сырьевых смесях для клинкера, содержащих в качестве алюмосиликатного компонента хвосты свинцово и медно-обогащительных фабрик; отход способствует более полному протеканию возгонки ряда благородных и цветных металлов, присутствующих в хвостах флотации.

Вышеперечисленные способы утилизации отходов узконаправленны и не способны в полной мере задействовать большое количество отхода. В этом плане привлекательна строительная отрасль, которая потребляет внушительное количество сырья. Так, в стройиндустрии уже перерабатываются металлургические шлаки, золы и многие другие многотоннажные отходы промышленности.

Рассмотрим способы переработки ТОС в производстве строительных материалов. Здесь исследовательские работы можно разделить на 4 направления:

1. ТОС в качестве сырья для вяжущих

Твердые отходы содового производства могут применяться в составе бесклинкерных вяжущих. При обжиге ТОС при температуре порядка 950-1000° С можно получать материал, схожий по характеристикам с известью 3 сорта, которую можно использовать при производстве силикатного кирпича, газобетонных блоков и др. [4, 11]. В 1980 годах функционировала производственная линия газобетонных блоков плотностью 700 кг/м³, на основе известково-кремнеземистого вяжущего из аналогичной извести; малоэтажные дома из таких блоков эксплуатируются и сейчас [4, 11, 12]. В результате исследований авторов [4] получено более эффективное бесклинкерное известково-глинистое вяжущее, марок 150 и более, а в смеси с 20-30 % портландцемента – марок 300-400. Опыт производство известково-белитового вяжущего на основе ТОС и сложности этой технологии, связанные с высоким содержанием в отходах хлоридов и щелочей, подробно показаны в [5]. Авторы [5] предлагают инновационную схему подготовки и обжига сырьевой смеси с получением портландцементного клинкера. Схема предполагает снижение концентрации хлоридов при получении ТОС из ДЖ. Низкохлоридный ТОС может использоваться в качестве частичной замены известняка при производстве портландцементного клинкера, при этом расходы топлива снизятся на 8-10 % и возрастет активность клинкера [5].

2. ТОС в качестве минеральной и химической добавки

Перспективно использование отхода как минеральной и/или химической добавки в традиционные строительные смеси. ТОС содержит гидратную воду, которая замерзает при более низких температурах, что позволяет его использовать в качестве противоморозной добавки и добавки в асфальтобетонные смеси для повышения их трещиностойкости [11]. В [7] показано, что обезвоженный ТОС по зерновому составу соответствует требованиям, предъявляемым к минеральным порошкам для асфальтобетонных смесей, и может использоваться взамен природного сырья. Также отход может выступать в роли минерализатора, связывающего полисахариды в древесно-цементных материалах [11]. ТОС содержит некоторое количество активного оксида кальция несвязанного в белитовую фазу, что способствует седиментационной устойчивости и положительно влияет на

свойства тампонажных смесей [11]. Учеными из Китая предложен [13] способ использования отходов содового производства в составах так называемых щелочных кирпичей. В Китае большая часть ТЭЦ работает на каменном угле, и помимо проблемы утилизации отходов содового производства остро стоит проблема утилизации золы-уноса. Из композиции, содержащей портландцемент, минеральные добавки ТОС и золы-уноса, песок и воду получены изделия, прочностью на сжатие 10 до МПа. Добавлением гидрофобизатора в состав композиции концентрация экстрагированного хлорид-иона снижена на 30 %, а морозостойкость увеличена вдвое.

3. ТОС в качестве наполнителя в полимерных композитах

В [14-15] отмечается перспективность сушки и измельчения ТОС в тонкодисперсные порошки, и дальнейшее использование их в качестве наполнителей в полимерные композиты.

4. ТОС в составе геополимерных вяжущих

Геополимеры – более экологически чистая в производстве альтернатива портландцементам. В отличие от портландцемента, производство которого отличается высокой энергоемкостью, для получения геополимерных вяжущих не требуется высокотемпературной обработки. Это трехкомпонентные системы, состоящие из тонкоизмельченных алюмосиликатов, растворимой щелочи и воды. Геополимеры на основе зольных отходов не имеют в своем составе кальцитной составляющей, и по физико-механическим свойствам уступают своим аналогам на основе природного сырья. Добавление в состав ТОС может решить эту проблему. В Китае произведены масштабные разработки геополимерных вяжущих из золы-уноса, ТОС, щелочного отвердителя, твердеющих при нормальной температуре в условиях герметизации. Введение ТОС приводит к меньшей усадке, большему количеству макропор, более ранней прочности и более плотной микроструктуре геополимерного раствора. В результате получен материал прочностью при сжатии до 17 МПа [16-18].

Выводы. Основная сложность переработки ТОС связана с повышенным содержанием в них хлоридов, форсирующих коррозию технологического оборудования. Учитывая богатейшую сырьевую базу РФ и дешевизну природного сырья, варианты отмывки и очистки отходов нереалистичны. Необходимы разработки составов цементных композиций с использованием ТОС в качестве карбонатной дисперсной минеральной добавки, а хлористых солей – как активных компонентов формирующихся композиций, с всесторонним изучением эксплуатационных характеристик и долговечности получаемых строительных композитов.

Список литературы

1. Горожанин В.М. Альтернативный источник минерального сырья для производства в г. Стерлитамаке // Вестник академии наук РБ. 2018. том 29. № 4 (82). С. 87-97.

2. Курбангалиева Л.Р. Снижение антропогенной нагрузки на окружающую среду путем переработки дистиллерной жидкости – отхода производства кальцинированной соды: Автореф. ... канд.тех.наук: 03.02.08 – Экология, 2013. 16 с.
3. Способ переработки твердых отходов производства кальцинированной соды аммиачным методом Патент РФ № 2647931 / Загидуллин Р.Н., Ибрагимов Р.А., Мухаметов А.А, Загидуллин С.Н, Воронин А.В., Котова О.И. заяв. 27.11.2015; опубл. 21.03.2018; Бюл. № 9.
4. Рязанов А.Н., Шагигалин Г.Ю., Недосеко И.В. Твердые отходы содового производства – важный резерв расширения сырьевой базы получения извести и низкоэнергоемких безклинкерных вяжущих на ее основе // Строительные материалы. 2020. № 4-5. С. 14-17.
5. Сабитов К.Б., Воронин А.В. Перспективы использования твердых отходов производства кальцинированной соды АО «БСК» в качестве карбонатной составляющей сырья для производства цемента // Вестник академии наук РБ. 2016. том 21, № 3 (83). С. 86-95.
6. Применение отходов содового производства в строительстве / Манойло Е.В., Манойло Ю.А., Моисеев В.Ф., Камбург В.Г. // Региональная архитектура и строительство. 2012. № 1. С. 43-50.
7. Калинина Е.В., Вайсман Я.И. Обоснование возможности выпуска строительных материалов на основе отходов производства кальцинированной соды // Строительные материалы. 2012. № 9. С. 64-66.
8. Калинина Е.В., Рудакова Л.В., Петров В.Ю. Критерии оценки системы обращения с отходами производства кальцинированной соды // Экология и промышленность России. 2011. № 5. С. 44-47.
9. Использование карбонатсодержащих отходов производства кальцинированной соды с получением оксида магния / Курбангалеева М.Х., Пергушова Л.Р., Тумина Т.С., Байназаров А.Р. // Экологические основы прогрессивных технологий: сб. статей (Пенза, 19-20. 08.15). Пенза, 2015. С. 74-77.
10. Нимчик А.Г., Усманов Х.Л., Кадилова З.Р. Изучение влияния отходов химической промышленности на возможность возгонки металлов в портландцементных сырьевых смесях // Universum: Химия и биология. 2020. № 2 (68).
11. Леонтьев С.В., Титова Л.Н. Использование отходов производства кальцинированной соды для получения строительных материалов // Современные технологии в строительстве. Теорияипрактика. 2018. Том 2. С. 315-324.
12. Строительные материалы на основе промышленных отходов Республики Башкортостан / Вагапов Р.Ф., Сеницын Д.А., Оратовская А.А., Тэненбаум Г.В. // Строительные материалы и изделия. 2012. № 4 (22). С. 279-284.
13. PreparationandModificationofAlkalineBricksbyUsingIndustrialResiduesand CalciumStearate / Chenxu Liu, Bo Liu, Xidong Chen, Jin Zhang, Wubiao Duan, Jianping Guo, Junping Han, Yanxian Zhang, Shuxuan Yu, and Kunsheng Hub // Environmental Progress & Sustainable Energy.2017. DOI:<https://doi.org/10.1002/ep.12425>.
14. Эффективная минеральная добавка на основе отходов нефтехимических производств для бетонной строительной смеси / Бадикова А.Д., Сахибгареев С.Р., Федина Р.А., Рахимов М.Н., Цадкин М.А. // Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал. 2020. № 12 (1). С. 34-40.
15. Павлова И.Л., Кочергина М.П. Совершенствование составов полимерсиликатных композитов // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2012. С. 96-98.
16. Preparation and characterization of press-formed fly ash cement incorporating soda residue / Xianhui Zhao, Chunyuan Liu, Liming Zuo, Qin Zhu, Wang Mab, Youcai Liu // Materials Letters.2020.№260.DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.126852>.

17. Synthesis and characterization of fly ash geopolymer paste for goaf backfill: Re-use of soda residue / Xianhui Zhao, Chunyuan Liu, Liming Zuo, Li Wang, Qin Zhu, Youcai Liu, Boyu Zhou // Journal of Cleaner Production. 2020. № 259. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121045>.

18. Physical and mechanical properties and micro characteristics of fly ashbased geopolymers incorporating soda residue / Xianhui Zhao, Chunyuan Liu, Li Wang, Liming Zuo, Qin Zhu, Wang Ma // Cement and Concrete Composites.2019.№98. p.125-136. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.02.009>.

УДК 691.327-431

ПРОИЗВОДСТВО БЕТОННОЙ ТРОТУАРНОЙ ПЛИТКИ С ФЛУОРЕСЦЕНТНЫМ ЭФФЕКТОМ

Сотсков Илья Сергеевич, Тимохин Денис Константинович
*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., Россия*
e-mail: voiced@list.ru

***Аннотация.** В статье раскрыты технологические основы производства светящейся тротуарной плитки. Даны обобщенные данные по степени влияния добавки алюмината стронция в состав, полученные экспериментальным образом. Сделаны выводы по влиянию технологии производства на конечный вид изделия.*

***Ключевые слова:** тротуарная плитка, фотолуминофор, энергия, бетон, состав, технология*

PRODUCTION OF CONCRETE PAVING TILES WITH FLUORESCENT EFFECT

Sotskov Ilya, Timokhin Denis

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia
e-mail: voiced@list.ru

***Abstract.** The article reveals the technological foundations of the production of luminous paving slabs. The generalized data on the degree of influence of the addition of strontium aluminate to the composition, obtained experimentally, are given. Conclusions are made on the influence of production technology on the final product.*

***Keywords:** paving slabs, photoluminophor, energy, concrete, composition, technology*

На данном этапе развития современных производственных технологий и спроса на лимитные источники энергии очевидно, что во всех отраслях промышленности требуется совершенствовать производственные технологии и повышать энергетическую эффективность выпускаемых конструкций и материалов в целях снижения затрат ресурсов при эксплуатации осваиваемых площадей, зданий, сооружений. В качестве одного из пу-

тей решения существующей энергосберегающей задачи предлагается рассмотреть технологию строительного материала – тротуарной плитки с эффектом длительного послесвечения.

Для придания свечения в вечернее и ночное время суток готового изделия – тротуарной плитки, при приготовлении декоративного слоя бетонной смеси в состав вводится фотолуминофор длительного послесвечения. В качестве такого компонента выбран алюминат стронция. Для правильного подбора светящегося компонента были выделены следующие основные характеристики люминесцентных веществ [3]:

1. Электронные спектры.
2. Квантовый выход.
3. Продолжительность свечения.
4. Инертность по отношению к компонентам бетонной смеси.

Электронные спектры люминесцентных веществ обусловлены энергетическими переходами энергетическими переходами между невозбужденным и возбужденным состояниями молекулы. Переход из основного состояния в возбужденное характеризуется спектром поглощения, а из возбужденного в основное – спектром испускания, то есть люминесценции. Спектр поглощения позволяет судить об энергиях перехода из основного (невозбужденного) состояния на различные уровни и подуровни возбужденного состояния.

Спектр люминесценции характеризует энергии перехода с самого нижнего уровня возбужденного состояния на различные подуровни основного состояния. По закону Стокса частота излучения всегда меньше или равна частоте поглощенного света, то есть длины волн излучаемого света больше, чем поглощенного, при этом очевидно, что послесвечение является менее интенсивным, чем свечение попадающего света на люминофор. Яркость свечения фотолуминофора зависит от мощности источника возбуждения, интенсивности поглощения, от длительности процесса поглощения – чем больше квантов энергии света молекула фотолуминофора поглотит, тем больше их она сможет излучить впоследствии. Одним из важнейших параметров, определяющих яркость свечения люминофора, является квантовый выход – своего рода коэффициент полезного действия люминофора. Он определяется как отношение числа излученных квантов к числу поглощенных.

Абсолютный квантовый выход определяется строением молекулы. Для алюмината стронция, активированного европием и диспрозием, квантовый выход определен и колеблется от 89 % до 96 %, в зависимости от концентрации ионов европия и диспрозия при активации. Важной характеристикой люминофора является излучательное время в возбужденном состоянии – время послесвечения. Анализ технической литературы показал, что наиболее часто применяемые люминофоры на основе сульфидных соединений (CaS , SrS): Bi или ZnS: Cu , не обладают значительным временем

послесвечения, при этом отличаются высокой скоростью светонакопления, достаточной начальной яркостью и возможностью воспроизводить основные цвета палитры.

Основной недостаток таких люминофоров в невысоких параметрах гидро- и атмосферостойкости, что приводит к их быстрому разрушению на воздухе, при солнечном облучении и в воде. В конце XX века был предложен новый вид люминесцентной системы $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}\text{Dy}^{3+}$ с длительным послесвечением более 16 ч и высокой начальной яркостью в области 520 нм. Именно благодаря активации редкоземельными ионами двухвалентного европия (Eu^{2+}) и трехвалентного диспрозия (Dy^{3+}), SrAl_2O_4 представляет собой люминофор с длительным послесвечением. Благодаря высокой яркости и длительности послесвечения, алюминатные люминофоры $\text{MeAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}\text{Re}$ (где Me – щелочноземельный металл, Re – редкоземельный активатор из группы лантаноидов) в последние 10-15 лет получили широкое распространение. Стоит отметить, что наиболее изученной матрицей является система $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}\text{Dy}^{3+}$ обеспечивает люминофору требуемый спектральный состав. Существенным преимуществом светозапасующего люминофора на основе алюмината стронция, активированного ионами Eu^{2+} и Dy^{3+} ($\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Eu},\text{Dy}$), по сравнению с ранее известными фотостимулируемыми люминофорами сине-зеленого цвета свечения на основе сульфидов цинка ($\text{ZnS}:\text{Cu}, \text{Pb}$) и стронция ($\text{SrS}:\text{Ce}, \text{Sm}$) является их повышенная химическая, гидrolитическая, радиационная, термическая стойкость, а также их способность аккумулировать заметную светосумму при естественном или искусственном освещении и затем высвечивать накопленную светосумму в течение 0,2-12 часов после прекращения воздействия внешнего освещения в зависимости от концентрации редкоземельных ионов (Eu^{2+} , Dy^{3+}).

Время высвечивания светосуммы зависит от времени накопления энергии, частоты и длины волны падающего излучения. Таким образом, для производства светящейся тротуарной плитки рационально использовать именно алюминат стронция, как люминофор, отвечающий всем требованиям производства [2, 3].

Обращаясь к технологии производства тротуарной плитки с флуоресцентным эффектом, можно сказать, что в зависимости от выбора технологии изготовления плитки будут отличаться визуально-эстетические характеристики готового изделия. Наиболее рациональна в применении технология вибропрессования полусухой бетонной смеси. Такой метод формирования дает готовому изделию наибольшую прочность на сжатие и изгиб. При этом временные затраты на единичный производственный цикл изделия короче, чем при производстве материала по вибролитьевой технологии производства тротуарной плитки [4].

В ходе проведения исследования были изготовлены экспериментальные образцы тротуарной плитки с флуоресцентным эффектом (рис. 1).

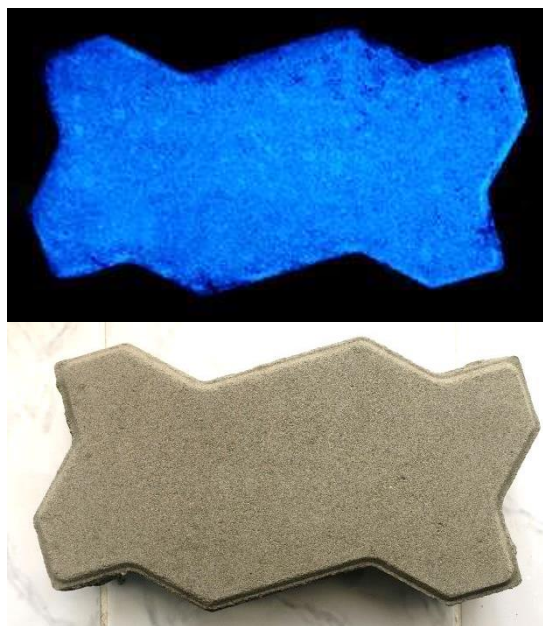


Рис. 1. Экспериментальный образец готового изделия – тротуарная плитка с флуоресцентным эффектом

Предлагается рассмотреть технологию производства тротуарной плитки по методу вибропрессования по следующими производственными переделами:

1. Подготовка сырьевых компонентов, транспортировка их к дозаторам.

2. Дозирование сырьевых компонентов, при этом следует отметить. Что для производства готового изделия с экономической точки зрения рационально применять две технологические ветки с целью приготовления двух смесей – основного слоя и верхнего (декоративного) слоя. Таким образом будет обеспечено снижения затрат на сырьевые компоненты, так как наиболее дорогой их них – активизированный диспрозием и европием алюминат стронция – будет распределен лишь в 10 % от общего объема смеси (согласно [1] допускается выпуск тротуарной плитки с декоративным слоем толщиной не менее одной десятой от общей толщины плитки).

3. Гомогенизацию сырьевых компонентов предлагается осуществляется виброперемешиванием – воздействием на смесь вибрационных импульсов, наиболее эффективным для жестких смесей. Воздействие вибрации на цементно-бетонную смесь приводит ее в состояние тиксотропного разжижения, ее частицы, многократно соударяясь между собой, имеют повышенную способность к диффундированию (взаимопроникновению), нежели при отсутствии вибровоздействия, когда смесь практически не разжижается, а соударение групп частиц происходит в несколько раз реже. Кроме того, при интенсивном вибрировании смеси в процессе ее приготовления происходит активация цементного камня, которая повышает скорость твердения бетонной массы и прочность изделия, а также улучшает структуру бетона.

4. Формование. Приготовленная бетонная смесь для основного слоя поступает из смесителя в бункер-накопитель, предназначенный для смеси основного слоя. Под бункером установлена линия транспортирования вибропресса. При помощи транспортерной ленты смесь подается в модуль загрузки. Бетонная смесь для декоративного слоя поступает в бадью меньшего объема, откуда попадает во вторую емкость модуля загрузки вибропресса при помощи ленточного транспортера. Из модуля загрузки вибропресса бетонная смесь основного слоя с определенной периодичностью подается на матрицу форм, подвергается вибрации, а затем поверх нее подается часть смеси декоративного слоя, далее происходит вибрация и первичное уплотнение. Окончательным этапом является добавление второй части декоративного слоя бетонной смеси и происходит конечное уплотнение под воздействием давления и вибрации до заданной толщины плитки.

Список литературы

1. ГОСТ 17608-2017. Плиты бетонные тротуарные. Технические условия (с изменением № 1).
2. Yamamoto H., Matsuzawa T. Mechanism of Long Phosphorescence of SrAl₂O₄: Eu²⁺, Dy³⁺ and CaAl₂O₄: Eu²⁺, Nd³⁺ // J. Lumin. 1997. Vol. 72. P. 287.
3. Люминофоры длительного послесвечения – возможность применения для целей МЧС / В.А. Большухин, Н.А. Булычев, Н.Н. Васильева и др. // Альтернативная энергетика и экология. 2013. № 6, ч. 2. С. 97-104. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000466645>.
4. Румянцев Б.М. Процессы и аппараты в технологии строительных материалов [Электронный ресурс]: учебное пособие / Б.М. Румянцев, Г.И. Горбунов, А.Д. Жуков. – Электрон. текстовые данные. – М.: Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2015.

УДК 691

ПРИРОДА ГИДРАТАЦИИ В СИСТЕМЕ С–S–Н И ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Стенина Нина Георгиевна

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), Россия, e-mail: stenina@yandex.ru

***Аннотация.** Аква-комплекс $[2SiO_3 - H_2O - M^{n+}M^{m+}O_4]$, установленный в результате исследования природного минералообразования, является решением ключевой проблемы строительного материаловедения: механизма связывания воды (гидратации) в С–S–Н системе. Концепция аквакомплекса раскрывает природу схватывания, твердения и упрочнения в процессе образования монолита, что является фундаментальной основой для разработки инновационных технологий.*

***Ключевые слова:** аквакомплекс, система С–S–Н, гидратация, технологии*

THE NATURE OF HYDRATION IN THE C-S-H SYSTEM AND TECHNOLOGIES OF CONSTRUCTION MATERIAL SCIENCE

Stenina Nina Georgievna

*Novosibirsk State University of Architecture
and Civil Engineering (Sibstrin), Russia, e-mail: stenina@yandex.ru*

Abstract. *Aqua-complex $[2\text{SiO}_3 - \text{H}_2\text{O} - \text{M}^{n+}\text{M}^{m+}\text{O}^4]$, established as a result of studies of the mineral-forming processes, is a solution to the key problem of the construction material science concerning the mode by which water is binding in the C-S-H system (hydration). The concept of aqua-complex unravels the nature of setting, hardening and strengthening in the processes of the monolith formation which is a fundamental basis for developing the innovative technologies.*

Keywords: *aqua-complex, C-S-H system, hydration, innovative technologies*

Ресурсо- и энергосбережение являются ответами строительной индустрии на резкий рост цивилизационных запросов и современных глобальных вызовов. В строительном материаловедении задача состоит в повышении эксплуатационных качеств материалов при снижении их сырьевой и энергетической емкости. Ее решение зависит от понимания природы процессов, происходящих при образовании строительного монолита (бетон, кирпич и др.) из смеси цемента с минеральными сырьевыми ингредиентами в ходе их соединения с водой. На долгом историческом пути (бетон известен более 4-х тысяч лет) строительные технологии развивались эмпирическим путем.

Главными находки при этом: 1) обнаружение т.н. «вяжущих» свойств у соединений кальция (Ca) с кремнием (Si) (система C-S) и 2) реализация этих свойств при соединении CS минералов (цемента) с водой (система C-S-H). В этом, собственно, и состоит базовая технология получения строительного монолитного материала из жидкой водно-минеральной смеси (пасты). Необходимость улучшения эксплуатационных свойств материалов обусловила появление композитных материалов. Однако, в поиске модифицирующих добавок опять же доминировал эмпирический подход.

Причиной такой ситуации является нерешенность главного теоретического вопроса строительного материаловедения: физико-химической природы процессов гидратации в C-S-H системе. В длительной истории изучения проблемы наиболее известны подходы, связанные с кристаллизационной теорией А. Ле-Шателье (1887 г.) и коллоидной теорией В. Михаэлиса (1893 г.). На новом уровне они были объединены в «протонной теории» А.А. Байкова [1]. Однако не было исчерпывающей теории, поэтому вопрос, от решения которого зависит, по-настоящему инновационное, развитие отрасли, оставался открытым.

В современном индустриальном прогрессе все большую роль играют природоподобные технологии. В строительном материаловедении, моделью процесса получения строительного монолита является геологическая литификация (окаменение).

В ее результате рыхлый материал (песок, глина, известняк) превращаются в монолитную породу (сланцы, граниты). Вода является неотъемлемым участником минеральных реакций на всех стадиях литификации. Это означает, что она присутствует в «невидимой» форме при структурно-химическом преобразовании пород. Однако, как в строительном материаловедении, механизм взаимодействия воды с природным минеральным веществом оставался неясным.

Решение проблемы было найдено в виде аква-комплекса $[2\text{TO}_3 - \text{H}_2\text{O} - \text{M}^{n+}\text{M}^{m+}\text{O}^{\cdot}_4]$ (где Т – Si и другие 4-х валентные катионы: С, Ti..., M^{n+} – одно- и двухвалентные катионы: Na, Fe^{2+} ..., M^{m+} – многовалентные катионы: Fe^{3+} ..., O^{\cdot} – O и другие летучие: Cl, S...) (рис. 1, а).



а

б

Рис. 1. Модель аквакомплекса (а); и геологические (б) доказательства невозможности вхождения Ca в его структуру

Аквакомплекс впервые был найден на наноуровне, в результате расшифровки водно-примесных дефектов в природном кварце с помощью ПЭМ (Просвечивающей Электронной Микроскопии) в комплексе с другими физико-химическими методами [2, 3]. Затем была установлена его фундаментальная роль как закона эволюции Земного минерального вещества и неформального аналога ДНК, обоснованная всем био- и геологическим материалом [4, 5].

В аква-комплекс могут входить все элементы таблицы Менделеева, кроме Ca (Sr, Ba...). Из-за особенностей своей электронной структуры эти элементы не связываются с водой в единой структуре аквакомплекса. При-

родным доказательством является существование карстовых (карст – богатые Ca породы) пещер, заполненных водой (рис. 1, б).

Это дает ответ на вопросы: 1) почему соединения Ca с Si, клинкерные минералы цемента (система C-S), обладают вяжущими свойствами? и 2) что происходит при их соединении с водой, т. е. природа схватывания, твердения и упрочнения в системе C-S-H?

С точки зрения концепции аквакомплекса, Ca и Si являются антагонистами по отношению к воде. Кремний легко с ней связывается, что доказывает разнообразие водосодержащих форм кремнезема, кальций – наоборот (рис. 1, б, в). Поэтому в природе мало минералов силикатов кальция, а их искусственное получение связано с огромными энергозатратами: клинкерные минералы цемента получают при $T \geq 1300^\circ \text{C}$. Антагонизм Ca и Si по отношению к связыванию с водой в виде аква-комплекса является причиной их вяжущих свойств.

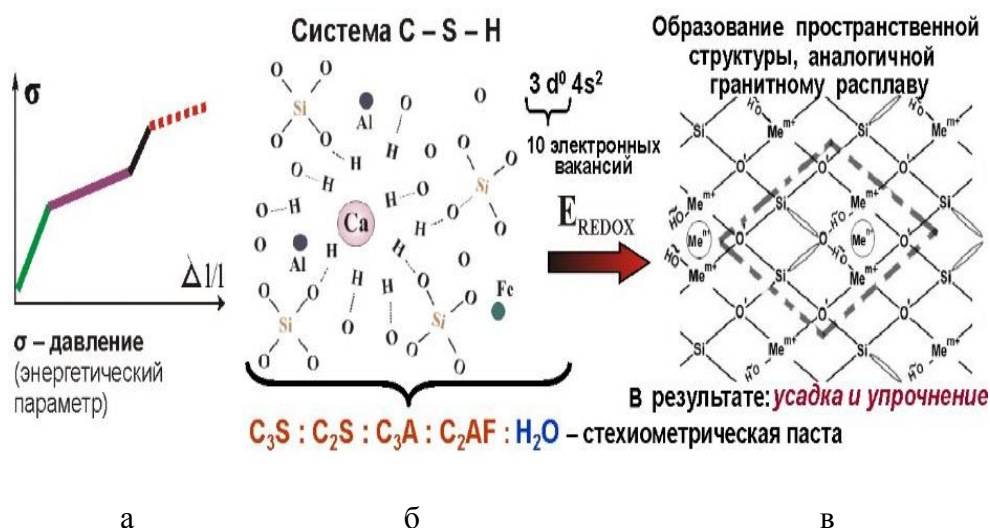


Рис. 2. Образование строительного монолита как природоподобная модель литификации: а – реологическая интерпретация процессов в C-S-H системе, б – гидратация алита, в – упорядочение в протонированной структуре алита и образование 3D структуры, подобной граниту

«Вяжущие свойства» означают процесс физико-химического взаимодействия ингредиентов в гетерогенной водно-минеральной системе. В результате этого исходная «паста» (система C-S-H) через стадии «схватывания», «твердения» и «упрочнения» превращается в твердый монолит, аналог скальной породы. Возникает вопрос: каков механизм, главное, источник энергии, необходимой для структурной реорганизации и химического взаимодействия друг с другом тонкодисперсных компонентов в исходно неупорядоченной системе? Ведь, как следует из графика (рис. 2, а), все этапы ее преобразования являются энергоемкими.

Ответ дает рассмотрение процесса гидратации клинкерных минералов (на примере алита, C_3S) с точки зрения концепции аква-комплекса

(рис. 2, б). При гидратации водород мигрирует в объем алита, концентрируясь вокруг атомов кальция (рис. 2, б). Это происходит потому, что Са не может образовать аква-комплекс, а Н является для него донором электронов. Поэтому вокруг кальция образуется атмосфера из протонов H^+ (протонная теория Байкова [3]).

Водородные связи, образующиеся вокруг кальция, являются источником энергии в системе [5, 6]. Из-за свойств Са, эта энергия не может пойти на преобразование системы через механизм аквакомплекса, поэтому она расходуется «*in situ*» на связывание ее разрозненных фрагментов. В результате образуется 3D-структура, подобная природному граниту (рис. 2, в). Бетон, т. о., это – продукт упорядочения и консолидации компонентов в гетерогенной С-S-H системе.

Строительные композиты являются ответом отрасли на необходимость создания материалов с лучшими, чем у бетона, эксплуатационными свойствами. В контексте вышесказанного, бетон является «**модельной системой**» для целенаправленного конструирования композита на его основе. Знание бетона позволяет сделать по-настоящему инновационный скачок в технологиях разработки композиционных материалов. Он заключается в переходе от эмпирического уровня к целенаправленному получению материала с заданными свойствами при максимальном ресурсо- и энерго-сбережении.

Как пример, можно привести композитный материал, полученный в результате армирования ячеистого бетона тонкодисперсными добавками природных С-S минералов [7]. В качестве таковых были взяты минералы волластонит ($Wo - CaSiO_3$) и диопсид ($Di - (Ca, Mg) Si_2O_6$). Полученный таким образом композит обладает большей прочностью, более низкими теплопроводностью и весом по сравнению с исходным образцом. Показано, что это достигается за счет структурообразования в матрице армированного ячеистого бетона (рис. 3). В результате этого сокращается число открытых пор, происходит их изомеризация (рис. 3, а и б – вставки), распределение в объеме образца становится однородным. При этом увеличивается прочность межпоровых промежутков.

Эти структурные преобразования, особенно повышение прочности матрицы, являются энергоемкими. Поэтому, чтобы объяснить изменение внутреннего строения композита от менее (рис. 3а) к более (рис. 3б) упорядоченной пористой структуре, при этом – повышение прочности матрицы, необходимо найти внутренний источник генерации энергии. Концепция аквакомплекса дает основание идентифицировать данный источник как энергию окислительно-восстановительного потенциала (E_{REDOX}). Так же, как и в выше рассмотренном случае процессов в С-S-H системе (рис. 2, б, в), эта энергия генерируется из водородных связей при гидратации природных CS минералов (Di и Wo), распределенных в тонкодисперсном виде в матрице ячеистого бетона.

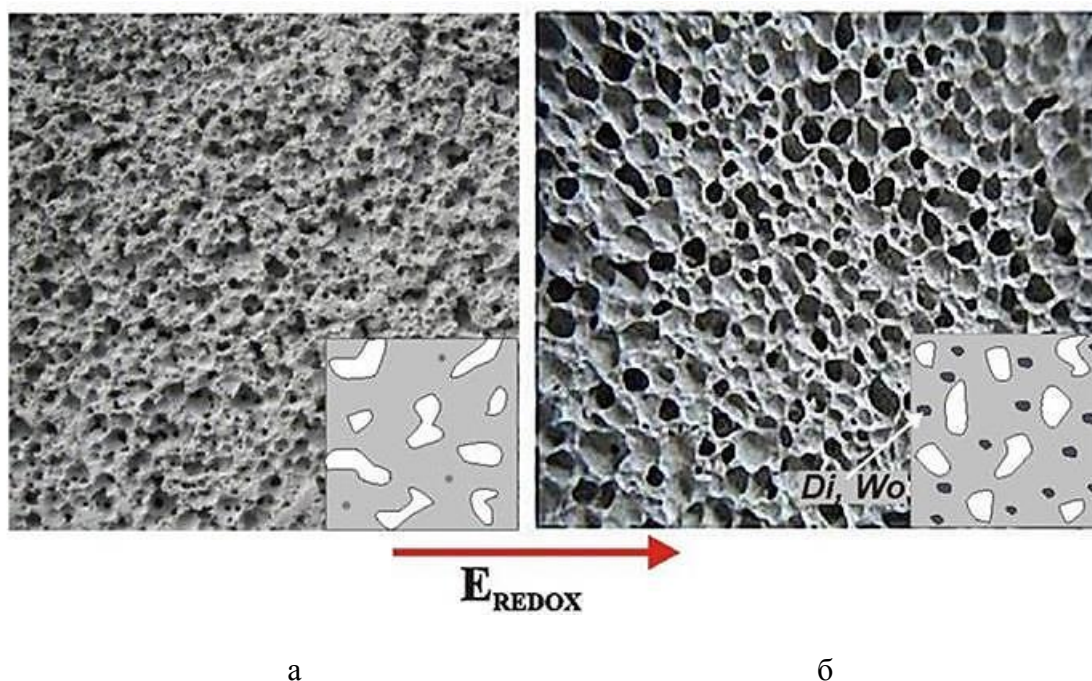


Рис. 3. Влияние тонкодисперсных добавок природных С-S минералов (диопсид–Di, волластонит–Wo) на упорядочение пористой структуры пенобетона: исходный образец (а), образец с модифицирующими добавками (б)

Таким образом, концепция аквакомплекса, являясь решением ключевой проблемы строительного материаловедения – физико-химической природы связывания воды в **С–S–Н** системе, служит основой для целенаправленных и, как следствие, кардинально более простых и экономичных, технологий создания строительных композитов.

Список литературы

1. Байков А.А. Техн-экон. Вестник. 1923, Т. 3, № 6-7, С. 206-215.
2. Stenina N.G. et al. 1984. Structural state and diffusion of impurities in natural quartz of different genesis. Phys. Chem. Miner. 1984. № 10. P. 180-187.
3. Stenina N.G. 2004. Water-related defects in quartz. Bull.of Geosc. V. 79, № 4, P. 251-268.
4. Стенина Н.Г., Дистанова А.Н. 1991. Структурно-химические преобразования силикатных минералов как индикатор их генезиса (на примере пород Каахемского плутона, Тува). Новосибирск: Изд-во ОИГГМ и СОРАН. 75 с.
5. Stenina N.G. 2013. Evolution of the Mineral Matter of the Earth: Theory and Implications. Energy paradigm of geological processes. [Scientific electron book: www.steninageo.com] Novosibirsk: Academic Publishing House «GEO». 414 p.
6. Stenina N.G. 2003. REDOX as a link between organic and inorganic matter: its role in mineralization. In: D.G. Eliopoulos et al. (Eds.) Mineral Exploration and Sustainable Development. – Rotterdam Netherlands: Millpress, – P. 857-860.
7. Машкин Н.А., Кудяков А.И., Бартеньева Е.А. 2018. Неавтоклавный пенобетон, дисперсно-армированный минеральными и волокнистыми добавками. Известия высших учебных заведений. Строительство. № 8. С. 58-68.

ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО ШЛАКА НА СВОЙСТВА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

**Тхет Наинг Мьинт, Аунг Чжо Ньейн, Хтет Паинг Аунг,
Кривобородов Юрий Романович**

*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,
Россия, e-mail: phaymyint.mgwe@gmail.com*

***Аннотация.** Работа посвящена исследованию влияния дисперсности шлака на свойства портландцемента. Работа состоит из введения, цели работы и экспериментальной части. В ходе эксперимента разработаны оптимальные составы портландцемента с добавлением доменного гранулированного шлака. Установлено, что использование выбранной дисперсности шлака в составе портландцемента позволяет повысить прочность и уменьшить сроки твердения камневидных тел. Общий объем работы составляет 4 страниц (таблиц – 4, количество рисунков – 1). Использовано 3 источника литературы.*

***Ключевые слова:** портландцемент, доменный гранулированный шлак, гипс, цементный камень и клинкер*

INFLUENCE OF HIGH-DISPERSED SLAG ADDITION ON PORTLANDCEMENT PROPERTIES

**Thet Naing Myint, Aung Kyaw Nyein, Htet Paing Aung,
Krivoborodov Yuri Romanovich**

*Russian University of Chemical Technology DI. Mendeleev, Russia
e-mail: phaymyint.mgwe@gmail.com*

***Abstract.** The work is devoted to the study of the effect of slag dispersion on the properties of Portland cement. The work consists of an introduction, the purpose of the work and an experimental part. In the course of the experiment, the optimal compositions of Portland cement with the addition of granulated blast furnace slag were developed. It was found that the use of the selected slag dispersion in the composition of Portland cement allows to increase the strength and reduce the time of hardening of stone-like bodies. The total amount of work is 4 pages (tables – 4, number of figures – 1). Used 3 sources of literature.*

***Keywords:** portland cement, granulated blast furnace slag, gypsum, cement stone and clinker*

Статья посвящена исследованию влияния дисперсности шлака на свойства портландцемента. В ходе эксперимента разработаны оптимальные составы портландцемента с добавлением доменного гранулированного шлака [2]. Установлено, что использование выбранной дисперсности шлака в составе портландцемента позволяет повысить прочность и уменьшить сроки твердения камневидных тел.

Цель работы – являлось изучение влияния добавки высокодисперсного шлака на свойства портландцемента.

Введение – Частицы добавки шлака выполняют роль центров кристаллизации продуктов гидратации. Введение доменного гранулированного шлака оказывает положительное влияние на процессы гидратации мономинеральных веществ и портландцемента. Добавка доменного гранулированного шлака увеличивает прочность при длительном твердении цементного материала, повышает водонепроницаемость твердеющего камня [2]. Эта добавка способствует созданию более равномерной структуры цементного камня, уменьшает содержание и размер капиллярных пор, улучшает химическую стойкость, а, следовательно, увеличивает прочность цементного камня.

В работе были использованы: портландцемент М500Д0 производства ОАО Подольск-Цемент и доменный гранулированный шлак производства ОАО «Северсталь». Химический состав исходных материалов представлен в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Химический состав портландцементного клинкера для получения ПЦ 500 Д0

п.п.п	Содержание оксидов, %					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
0,32	23,19	4,53	2,21	66,01	2,26	0,17

По данным рентгенофазового анализа (рис. 1) портландцементный клинкер имеет следующий минералогический состав:

C₃S ~ 55 %; C₂S ~ 23; C₃A ~ 8 %; C₄AF ~ 12 %.

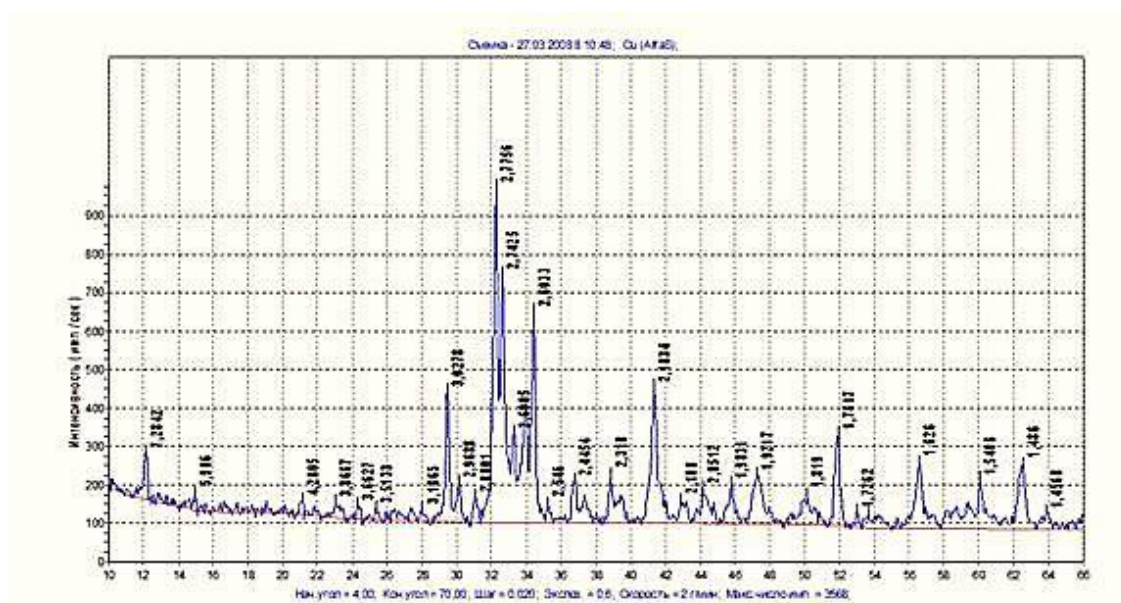


Рис. 1. Рентгенограмма портландцементного клинкера

Таблица 2

Химический состав доменного гранулированного шлака

Производитель	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	ППП	Сумма
Северсталь	36,71	10,58	1,20	37,00	9,44	0,80	3,70	99,43

Цементы получали совместным помолом компонентов в лабораторной мельнице. Оценку тонкости помола осуществляли по остатку на сите № 008 в пределах 7-8 %. Физико-механические испытания: растекаемость (по расплыву стандартного конуса), схватывание цементного теста, прочность цементного камня на изгиб и сжатие производили в соответствии с национальными стандартами РФ. На первом этапе изучали роль *доменного шлака* в формировании свойства портландцемента, на втором – влияние пластификаторов на прочность цементного камня.

Таблица 3

Определение водопотребности и сроки схватывания

№	Вид исследуемой добавки	НГ, %	Сроки схватывания, мин	
			Нач.	Конч.
1	ПЦ	28	62	125
2	ПЦ+ШЛ 10 %	27,5	32	71
3	ПЦ+ШЛ 20 %	27,5	34	80

Как видно из данной таблицы, что срок схватывание исходного портландцемента с добавкой доменного шлака сокращается по сравнению с чистоклинкерным цементом.

Результаты испытаний исходного портландцемента с добавками САФК и гипс приведены в табл. 4.

Таблица 4

Свойства исследуемых цементов

Цемент	Прочность, М Па, через сут			
	при изгибе		при сжатии	
	3	28	3	28
ПЦ	3,52	12,16	23	62,8
ПЦ +ШЛ 10 %	5,12	12,74	37,5	71,8
ПЦ +ШЛ 20 %	6,14	13,05	42,75	77,5

Данные показали, что при увеличении концентрации шлака происходит увеличение прочности цементного камня. Благодаря этому можно с уверенностью сказать, что цемент с минимальным количеством добавки шлака оказывает эффективное воздействие на свойства портландцемента.

Выводы

Содержание доменного гранулированного шлака в составе портландцемента играет важную роль в обеспечении строительно-технических свойств вяжущего. Увеличение содержания шлаковой составляющей шлакопортландцемента изменяет водопотребность цемента, практически влияет на сроки схватывания и прочностные свойства цементного теста.

Список литературы

1. ГОСТ 10178-85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 7 с.
2. Кривобородов Ю.Р., Бурлов А.Ю., Бурлов И.Ю. Применение вторичных ресурсов для получения цементов // Строительные материалы. – 2009. № 2. С. 44-45.
3. Samchenko S.V., Zorin D.A. Influence of fineness of expansive on cement properties // Cement-Wapno-Beton. – 2008. Vol. XIII/LXXV, № 5. P. 254-257.

УДК 666.940

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ НА ОСНОВЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

**Тхет Наинг Мьинт, Мин Хеин Хтет, Хан Тао Ко,
Кривобородов Юрий Романович**

*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,
Россия, e-mail: phaymyint.mgwe@gmail.com*

***Аннотация.** Работа посвящена исследованию коррозионная стойкость цементного камня на основе портландцемента. Работа состоит из введения, цели работы и экспериментальной части. В ходе эксперимента разработаны оптимальные составы портландцемента с добавлением САФК и гипса. Установлено, что использование выбранных САФК и гипса в составе портландцемента позволяет повысить прочность и уменьшить сроки твердения камневидных тел. Общий объем работы составляет 4 страниц (таблиц – 4). Использовано 3 источника литературы.*

***Ключевые слова:** портландцемент, добавки САФК, гипс, цементный камень и клинкер*

CORROSION RESISTANCE OF CEMENT STONE BASED ON PORTLANDCEMENT

**Thet Naing Myint, Min Hein Htet, Han Thaw Ko,
Krivoborodov Yuri Romanovich**

*Russian University of Chemical Technology DI. Mendeleev, Russia
e-mail: phaymyint.mgwe@gmail.com*

***Abstract.** The work is devoted to the study of the corrosion resistance of cement stone based on Portland cement. The work consists of an introduction, the purpose of the work and an experimental part. During the experiment, the optimal compositions of Portland cement with the addition of SAFK and gypsum were developed. It was found that the use of the selected SAFK and gypsum in the composition of Portland cement allows to increase the strength and reduce the hardening time of stone-like bodies. The total amount of work is 4 pages (tables – 4). Used 3 sources of literature.*

***Keywords:** Portland cement, SAFK additives, gypsum, cement stone and clinker*

Статья обусловлена тем, что одно из направлений развития науки о цементе диктуется необходимостью разработки вяжущих со специальными свойствами, которые не обеспечиваются применением цементов общестроительного назначения [1]. Наиболее детально изучены и в настоящее время получили довольно широкое распространение портландцемента с добавкой сульфоалюмоферритного клинкера при твердении [2 и 28], которые по скорости нарастания прочности и конечной ее величины могут конкурировать со специальными конструктивными материалами. Портландцементы с добавкой САФК обладают достаточными показателями прочности на сжатие и изгиб и низкой пористости.

Ключевые слова – портландцемент, добавки САФК, гипс, цементный камень и клинкер.

В настоящее время возникла острая необходимость повышения долговечности бетонных зданий и сооружений. На ремонт и восстановление ранее построенных объектов с применением бетона и железобетона тратятся огромные средства, которые могли бы быть использованы для нового строительства. Наиболее детально изучены и получили довольно широкое распространение портландцемента с добавками сульфоалюмоферритного клинкера и гипс. Портландцементы с добавками САФК и гипс обладают достаточными показателями прочности на сжатие и изгиб [2].

Цель работы – являлось изучение свойства портландцемента за счет использования добавки сульфоалюмоферритного клинкера и гипса. В работе были использованы: Портландцементный клинкер Подольского завода, сульфоалюмоферритный клинкер, производства АО «Подольск-Цемент», дисперсность $\sim 3000 \text{ см}^2/\text{г}$ и гипс Новомосковского месторождения.

Цементы получали совместным помолом компонентов в лабораторной мельнице. Оценку тонкости помола осуществляли по остатку на сите №008 в пределах 7-8 % [3]. Химический состав исходных материалов представлен на таблице 1.

Таблице 1

Химический состав исходных материалов

Наименование	Содержание оксидов, %					
	п.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
ПЦ клинкер	0,32	23,19	4,53	2,21	66,01	2,26
САФК	0,09	12,84	2,56	23,05	49,94	1,80
Гипсовый камень	23,1	2,4	0,5	0,3	32,2	2,6

Физико-механические испытания: растекаемость (по расплыву стандартного конуса), схватывание цементного теста, прочность цементного камня на изгиб и сжатие производили в соответствии с национальными стандартами РФ. На первом этапе изучали роль сульфоалюмоферритного клинкера в формировании свойства портландцемента, на втором – влияние пластификаторов на прочность цементного камня.

Таблица 2

Определение водопотребности и сроки схватывания

№	Вид исследуемой добавки	НГ, %	Сроки схватывания, мин	
			Нач.	Конч.
1	ПЦ	22,4	45	90
2	ПЦ + с 7 % САФК и 7 % ГИПС	22	27	58

Как видно из данной таблицы, что срок схватывание исходного портландцемента с добавкой доменного шлака сокращается по сравнению с чистоклинкерным цементом. Результаты испытаний исходного портландцемента с добавками САФК и гипс приведены в табл. 3.

Таблица 3

Свойства исследуемых цементов

Цемент	Прочность, М Па, через сут			
	при изгибе		при сжатии	
	2	28	2	28
ПЦ	14,5	24,7	51,6	90,4
ПЦ + с 7 % САФК и 7 % ГИПС	12,2	22,3	54,2	87

Как видно из данной таблицы, что срок схватывание исходного портландцемента с добавками САФК гипс сокращается по сравнению с чистоклинкерным цементом. Однако прочность портландцемента с добавками САФК и гипс немного ниже прочности исходного портландцемента.

Таблица 4

Определение пористости цементного камня

Цемент	Пористость, %, через сутки	
	2	28
ПЦ	21,5	9,31
ПЦ + с 7 % САФК и 7 % ГИПС	15,7	11,2

На этой таблице видно, что в обоих цементах наблюдается резкое снижение пористости цементного камня. Об этом можно свидетельствовать электронной микроскопии. Это обеспечивает высокие прочностные показатели и малую пористость камня.

Выводы

Результаты физико-механических испытаний портландцемента с добавками Гипс и САФК показывают возможность ускорения реакции его гидратации и твердения. Значительный прирост прочности цементного камня наблюдается на всех стадиях гидратации.

Список литературы

1. ГОСТ 10178-85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 7 с.
2. Кривобородов Ю.Р., Бурлов А.Ю, Бурлов И.Ю. Применение вторичных ресурсов для получения цементов // Строительные материалы. – 2009. № 2. С. 44-45.
3. S.V. Samchenko, D.A. Zorin. Influence of fineness of expansive on cement properties. // Cement-Wapno-Beton. – 2008. Vol. XIII/LXXV, № 5. P. 254-257.

УДК 666.972:532.135

РАЗРАБОТКА СОСТАВА ФИБРОБЕТОННОЙ СМЕСИ ПОВЫШЕННОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ

Хренов Георгий Михайлович, Рерих Анна Владимировна

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, e-mail: g.khrenov@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается один из возможных подходов к разработке состава фибробетонной смеси повышенной пластичности для обеспечения бездефектного формования непрерывным безопалубочным способом. Содержит краткое описание состояния вопроса и обоснование возможности использования микросинтетической фибры с целью повышения предельной растяжимости смеси с сохранением ее подвижности и прочности композита, используемые материалы и методики, описание экспериментов и анализ их результатов, полученные выводы. За счет введения микросинтетических волокон удастся добиться повышения предельной растяжимости на 25 %, при этом для компенсации потери подвижности рекомендуется увеличивать и расход воды, и расход пластификатора с поиском оптимально соотношения между ними для обеспечения заданной подвижности смеси и прочности композита.

Ключевые слова: непрерывное безопалубочное формование, бетонная смесь, фибробетонная смесь, реология, пластичность, предельная растяжимость бетонной смеси

DEVELOPMENT OF A FIBER CONCRETE MIXTURE OF INCREASED PLASTICITY

Khrenov Georgy Mikhailovich, Roerich Anna Vladimirovna

*Saint-Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering, Russia, e-mail: g.khrenov@mail.ru*

Abstract. The article discusses one of the possible approaches to the development of the composition of a fiber-reinforced concrete mixture of increased plasticity to ensure defect-free molding in a continuous non-formwork method. It contains a brief description of the state of the art and the rationale for the possibility of using microsynthetic fiber in order to increase the ultimate elasticity of the mixture while maintaining its mobility and strength of the

composite, the materials and methods used, the description of experiments and analysis of their results, and the conclusions drawn. Due to the introduction of microsynthetic fibers, it is possible to achieve an increase in the ultimate elongation by 25 %, while, to compensate for the loss of mobility, it is recommended to increase both the water flow rate and the plasticizer flow rate with the search for the optimal ratio between them to ensure the desired mixture mobility and composite strength.

Keywords: *continuous formwork, concrete mix, fiber-reinforced concrete mix, rheology, plasticity, ultimate tensile concrete mix*

Введение

Существующие сегодня технологии непрерывного безопалубочного формования бетонных и железобетонных изделий и конструкций, такие как слип-формование, виброформование, непрерывное вибропрессование и особенно технология трехмерной печати, приобретают все больший научный интерес [1, 2, 3, 4]. Для активного развития указанных способов формования решается широкий круг технологических и материаловедческих задач, к числу которых можно отнести следующие: снижение расхода цемента, повышение точности позиционирования экструдера, снижение экзотермии, эффективное регулирование реологических характеристик смесей и др. [3, 4, 5, 6, 7, 8]. При этом, критически важным является решение вопросов, связанных с реологическими и технологическими характеристиками бетонных смесей, без чего невозможно не только улучшение качества продукции и повышение экономической эффективности, но и существование некоторых технологий в принципе [3, 4, 7, 8, 9, 10].

Установлено [9], что одной и наиболее актуальных задач является регулирование пластических свойств бетонных смеси. В настоящее время уже сформирована инструментальная база для проведения исследований в данной области, а именно разработан метод и прибор для определения пластичности бетонной смеси по ее предельной растяжимости [10] и получены первые представления о формировании пластических свойств смеси, влиянии цементного теста на них и роли заполнителя, в том числе построена математическая модель, позволяющая расчетным путем спрогнозировать предельную растяжимость бетонной смеси известного состава [11, 12, 13].

Однако для целенаправленного регулирования пластичности бетонной смеси в производственных условиях этого недостаточно, поскольку полученные знания пока сильно разрознены, плохо поддаются обобщению и не учитывают взаимовлияния многих факторов и их влияние на другие свойства бетонной смеси и бетона. Именно поэтому существует необходимость в разработке специальных методов улучшения пластичности смеси, применение которых не повлечет за собой ухудшения других важных показателей качества бетонной продукции.

Одним из актуальных и перспективных направлений в технологии бетона является дисперсное армирование, позволяющее получать более

эффективные, бетонные конструкции. Благодаря способности волокон воспринимать нагрузку, фибробетон обладает повышенной прочностью, трещиностойкостью, ударной вязкостью и высоким сопротивлением истираемости [14, 15, 16, 17]. Помимо положительного влияния на конструктивные качества, дисперсное армирование позволяет регулировать реологию смеси, в том числе повышать ее пластичность [18].

Обобщая вышеизложенное, можно заключить, что сегодня существует задача разработки способов улучшения пластичности бетонных смесей, не влекущих ухудшения других показателей качества бетонной продукции. Одним из возможных способов является дисперсное армирование смеси, в применении которого и состоит данная работа.

Повышение пластичности смеси за счет дисперсного армирования

Последние исследования [18] влияния фибры на предельную растяжимость бетонной смеси показали, что дисперсное армирование может быть эффективным инструментом регулирования пластичности смеси. Полученные результаты сравнения равноподвижных составов (рис. 1.) демонстрируют возможность повышения предельной растяжимости на 40 % за счет введения волокон. При этом предлагается следующее объяснение такого эффекта. При введении в смесь фибры возрастает ее вязкость, что сопровождается падением подвижности, для компенсации такого воздействия и получения заданной подвижности в смесь вводится разжижающий компонент, например вода, который увеличивает не только подвижность смеси, но и ее предельную растяжимость.

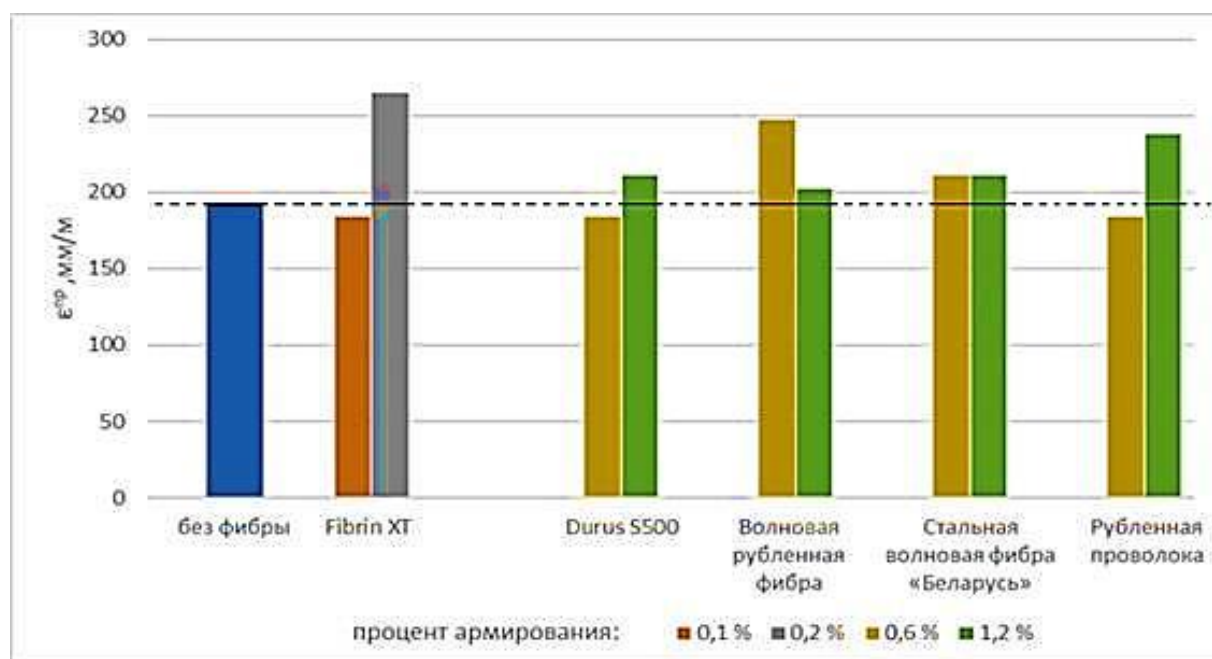


Рис. 1. Предельная растяжимость бетонной смеси в зависимости от типа и расхода армирующих волокон

Однако стоит отметить, что при введении некоторых типов волокон наблюдается обратный эффект, предельная растяжимость смеси падает, что пока не нашло своего объяснения. В некоторых случаях волокна вообще не оказывают существенного влияния на пластичность смеси. Такие различия могут объясняться многими причинами: сложность определения подвижности фибробетонной смеси, специфичный характер влияния некоторых видов волокон за счет многообразия их химической природы, размеров и формы, несовершенство методики определения предельной растяжимости и т. д.

Несмотря на неоднозначность исследований прошлых лет, с уверенностью можно сказать, что некоторые типы фибры, такие как микросинтетическая фибра, волновая рубленая синтетическая, стальная рубленая проволока, позволяют при некоторых расходах существенно повышать предельную растяжимость смеси, а наиболее перспективная в этом смысле на данный момент видится фибра *Fibrin XT*, с применением которой и осуществляется данное исследование.

Используемые материалы и методики

В исследованиях применяется бездобавочный портландцемент марки ЦЕМ I 42,5 Н (таблица 1), карьерный песок нормального гранулометрического состава (таблица 2), суперпластификатор Макромер П-163, армирующие волокна *Fibrin XT* (таблица 3).

Таблица 1

Основные характеристики используемого цемента

Показатель	Значение
Нормальная густота, %	28
Удельная поверхность по Блейну, м ² /кг	338
Средняя активность возрасте 2 суток, МПа	21,3
Средняя активность возрасте 28 суток, МПа	53,8

Таблица 2

Основные характеристики используемого песка

Показатель	Значение
Модуль крупности	2,4
Насыпная плотность, кг/м ³	1622
Плотность зерен, кг/м ³	2642

Таблица 3

Основные характеристики армирующих волокон *Fibrin XT*

Показатель	Значение
Химическая природа	полипропилен
Структурный уровень работы	микро
Форма волокон	прямые
Поверхность волокон	гладкая
Длина, мм	12...20
Условный диаметр, мм	0,022

Основные характеристики сырьевых материалов определялись в соответствии с действующими стандартами [19, 20]. Характеристики армирующих волокон предоставлены производителем. Подвижность смеси определяется по погружению конуса СтройЦНИЛа (ПК, мм), прочность образцов по [19].

Пластичность смеси в соответствии с [10] определялась по оригинальной методике через предельную растяжимость ($\epsilon^{пр}$, мм/м), суть которой заключается в изгибании свежееотформованного образца балки, измерении критического прогиба, при котором нарушается сплошность в растянутой зоне образца, пересчета прогиба в относительное удлинение, которое равняется предельной растяжимости.

Эксперимент и анализ результатов

Для определения оптимального расхода волокон и получения наилучшей пластичности смеси при сохранении ее подвижности и прочности композита были разработаны составы равноподвижных смесей с различным расходом фибры. При этом, для компенсации потери подвижности при введении волокон использовались два способа. Первый способ заключался в введении дополнительного пластификатора, второй способ – дополнительной воды.

Все полученные составы испытывались на подвижность (ПК, мм), предельную растяжимость ($\epsilon^{пр}$, мм/м), предел прочности на растяжение при изгибе ($R_{изг}$, МПа) и предел прочности при сжатии ($R_{сж}$, МПа) при 28 сутках нормального твердения. Полученные составы и результаты их испытаний представлены в таблице 4 и на рис. 2-4.

Таблица 4

Результаты эксперимента

№ состава б/с	Разжижающий компонент	Расход материалов на м ³ б/с, кг					ПК, мм	$\epsilon^{пр}$, мм/м	$R_{изг}$, МПа	$R_{сж}$, МПа
		цемент	песок	вода	процент ар- ния, %	Пл, % от Ц				
1	–	495	1485	234	0	0,3	55	180	6	41,8
2	Пл 2	483	1448	228	0,1	0,4	52	193	6,1	44,7
3		482	1446	228	0,2	0,5	56	211	6,5	45,2
4		483	1449	228	0,3	0,65	53	211	6,6	45
5		458	1375	217	0,4	0,8	54	211	6,5	44,8
6		вода	476	1429	240	0,1	0,3	55	220	5,8
7	468		1405	271	0,2	0,3	52	247	5,2	35,1
8	462		1386	282	0,3	0,3	55	265	5,3	34,2
9	452		1355	298	0,4	0,3	56	283	5,2	27,2

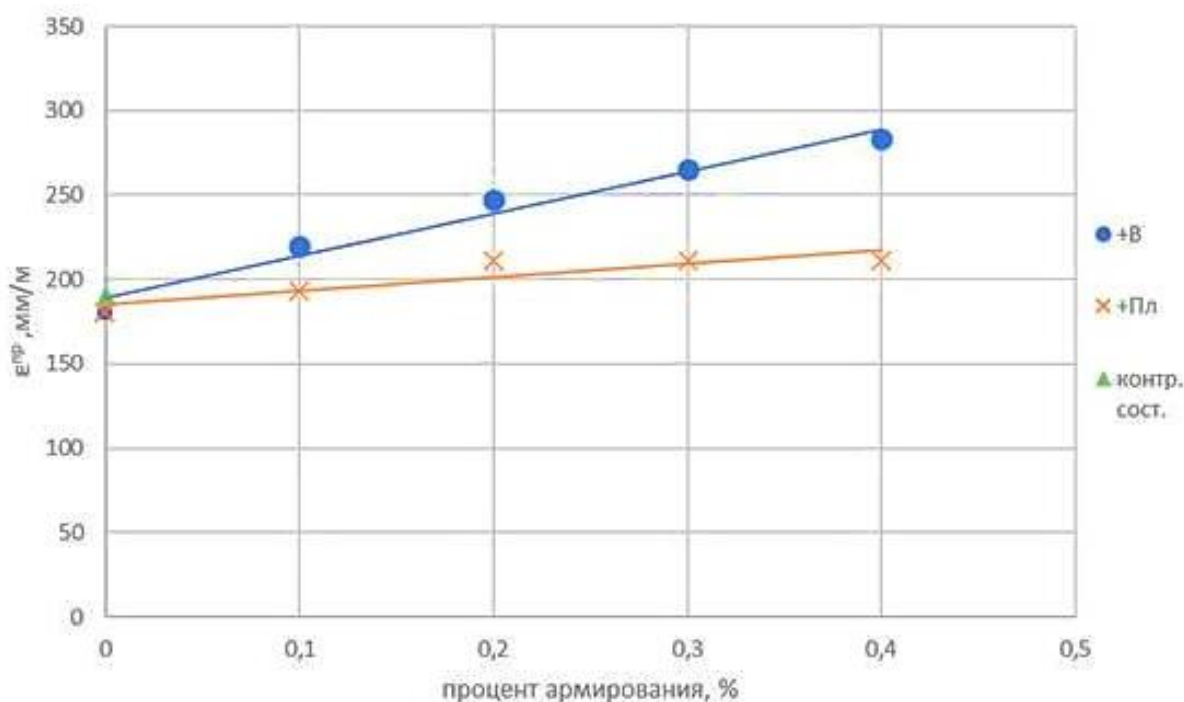


Рис. 2. Зависимость предельной растяжимости смеси от расхода армирующих волокон и от используемого разжижающего компонента

Как видно из результатов, при введении волокон в смесь и увеличении их расхода, устойчивый прирост предельной растяжимости по линейному закону наблюдается как при компенсации потери подвижности водой, так и пластификатором.

Однако, эффективность воды, как разжижающего компонента с точки зрения пластичности выше, угловой коэффициент составляет 251 против 80 при использовании в качестве компенсатора потери подвижности пластификатора. Несмотря на то, что наибольшее увеличение предельной растяжимости составило 57 %, превышение расхода волокон отметки 0,2 % по объему сопровождалось нарушением однородности смеси и трудностями при определении ее подвижности. С точки зрения органолептических свойств бетонной смеси лучшим процентом армирования следует считать 0,2 %.

Как и следовало ожидать, с увеличением расхода волокон, сопровождающегося введением дополнительной воды, наблюдается стабильное снижение прочностных характеристик композита. Предел прочности при сжатии и предел прочности на растяжение при изгибе снижается по линейному закону с угловыми коэффициентами -35,7 и -2,1 соответственно, что без сомнений связано с введением дополнительной воды и ростом водоцементного отношения.

В то же время при увеличении расхода волокон, сопровождающегося введением дополнительного пластификатора наблюдается стабильный линейный рост предела прочности при сжатии и предела прочности на рас-

тяжение при изгибе с угловыми коэффициентами 6,3 и 1,5 соответственно. Как известно, низко модульные волокна по типу синтетических не должны приводить к упрочнению композита, однако, современные исследования показывают, что высокая степень дисперсности таких волокон создает дополнительную площадь контактных зон, которые, как известно, отличаются повышенной плотностью и прочностью, что и приводит к незначительному приросту физико-механических характеристик.

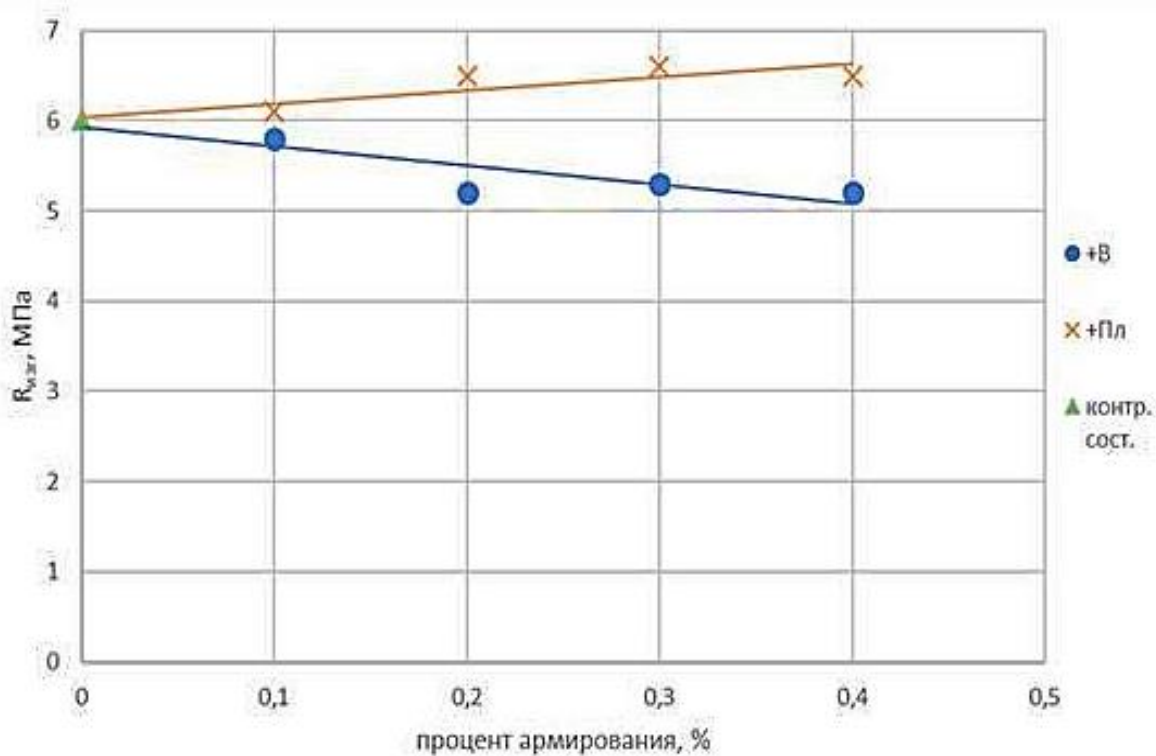


Рис. 3. Зависимость предела прочности на растяжение при изгибе от расхода армирующих волокон и от используемого разжижающего компонента

Резюмируя вышеизложенное, совершенно очевидно, что с точки зрения пластических свойств в качестве разжижителя эффективнее использовать воду, нежели пластификатор, однако вода существенно снижает прочность, в то время как с введением пластификатора напротив, прочность возрастает.

Это означает, что есть оптимальная зона, при которой прочность будет оставаться неизменной относительно контрольного состава, а пластичность будет возрастать сильнее чем при использовании пластификатора, но слабее чем при использовании воды. Другими словами, для достижения наилучшего результата, в качестве разжижающего компонента следует использовать и воду, и пластификатор в таком соотношении, которое позволит сохранить подвижность смеси и прочностные характеристики композита на заданном уровне.

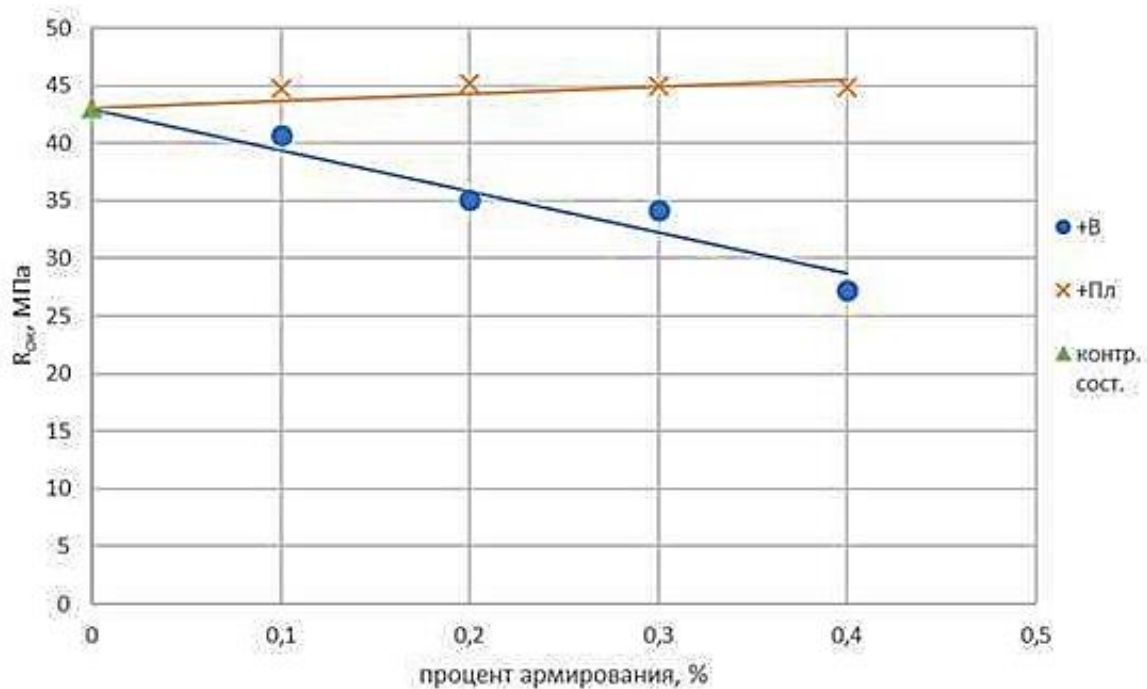


Рис. 4. Зависимость предела прочности при сжатии от расхода армирующих волокон и от используемого разжижающего компонента

Оптимизация состава фибробетонной смеси

Поскольку с увеличением расхода волокон пластичность смеси возрастает, а максимальный расход волокон установлен и составляет 0,2 % по объему, оптимизация состава фибробетонной смеси сводится к подбору такого сочетания между дополнительной водой и дополнительным пластификатором, которое позволит сохранить прочность композита на заданном уровне при проценте армирования 0,2 %. Результат оптимизации и сравнение с контрольным составом представлены в таблице 5.

В результате оптимизации при армировании в 0,2 % за счет введения как дополнительной воды (В/Ц увеличено с 47,2 % до 51 %), так и пластификатора (расход пластификатора увеличен с 0,3 % до 0,45 %), удалось сохранить заданную подвижность смеси и заданные прочностные показатели и значительно улучшить пластические свойства смеси, увеличив ее предельную растяжимость на 44 мм/м (на 25 %).

Несмотря на введение дополнительных дорогостоящих компонентов, таких как фибра и пластификатор, наблюдается снижение расхода заполнителя и цемента, что вызвано понижением плотности бетонной смеси и увеличение ее коэффициента выхода. Простая экономическая оценка по усредненным ценовым показателям говорит об увеличении стоимости кубического метра смеси на 278 рублей (с 3121 руб. до 3399 руб.). Другими словами, при увеличении стоимости на 9 %, удалось добиться повышения предельной растяжимости на 25 %. Но следует отметить, что главный экономический эффект при использовании смесей повышенной пластичности

заключается не в изменении себестоимости самой смеси, а в снижении количества дефектов и снижении процента бракованной продукции, что сложно оценить не прибегая к длительному наблюдению на действующем производстве.

Таблица 5

Сравнение контрольного и оптимизированного составов

Показатель		Состав № 1 (контрольный)	Состав № 10 (оптимизированный)
расход компонентов	цемент, кг на м ³ б/с	495	480
	песок, кг на м ³ б/с	1485	1430
	вода, кг на м ³ б/с	234	245
	пластификатор, % от массы цемента	0,3	0,45
	фибра, % от объема б/с	0	0,2
плотность бетонной смеси, кг/м ³		2215	2157
плотность бетона, кг/м ³		2202	2145
погружение конуса, мм		55	54
$\varepsilon^{пр}$, мм/м		180	225
R _{изг} , МПа		6	6,1
R _{сж} , МПа		41,8	41,7

Заклучение

В результате работы удалось улучшить пластические свойства контрольного состава за счет применения армирующих волокон *Fibrin XT* с сохранением заданных значений подвижности смеси и прочности композита, при этом предельная растяжимость возросла на 25 % (с 180 до 225 мм/м).

Несмотря на увеличение материальной стоимости смеси на 9 %, оптимизацию состава нельзя считать экономически нецелесообразной, ведь главный эффект от применения смесей с повышенной пластичностью заключается в снижении процента бракованной продукции и организационных издержек при производстве.

Полученные данные свидетельствуют о возможности эффективного использования микросинтетических волокон для улучшения пластичности смесей без ухудшения других показателей качества бетонной продукции и рекомендуются к использованию в бетонных смесях повышенной пластичности.

При использовании подобных армирующих волокон рекомендуется в качестве разжижавшего компонента рекомендуется применять и воду, и пластификатор в таком их соотношении, которое позволяет обеспечить заданную подвижность смеси и прочность композита.

Список литературы

1. Вагнер Е.С. Безопалубочное формование как перспективная технология производства ЖБИ / Е.С. Вагнер, Е.Ю. Супруненко // Достижения ВУЗовской науки – 2014. – № 9. – С. 108-113.
2. Копша С.П. Технология безопалубочного формования – ключ к модернизации промышленности и снижению себестоимости жилья / С.П. Копша, В.А. Заикин // Технологии бетонов – 2013. – № 11. – С. 29-33.
3. Славчева Г.С. Анализ и критериальная оценка реологического поведения смесей для строительной 3D-печати / Г.С. Славчева, М.А. Шведова, Д.С. Бабенко // Строительные материалы – 2018. – № 12 (766). – С. 34-40.
4. Славчева Г.С. Реологическое поведение дисперсных систем для строительной 3d-печати: проблема управления и возможности арсенала «нано» / Г.С. Славчева, О.В. Артамонова // Нанотехнологии в строительстве. – 2018. – Том 10, № 3. – С. 107-122.
5. Рыжов Д.И. О долговечности бетонов из наномодифицированных смесей / Д.И. Рыжов // Вестник гражданских инженеров – 2013. – № 2 (37). – С. 146-151.
6. Рыжов Д.И. Применение наномодифицированных добавок для железобетонных изделий / Д.И. Рыжов // Вестник гражданских инженеров – 2015. – № 6 (53). – С. 146-150.
7. Мосаков Б.С. Задачи технологической механики как составной части строительного материаловедения / Б.С. Мосаков, Ю.В. Пухаренко // Вестник гражданских инженеров – 2016. – № 2 (55). – С. 127-131.
8. Мосаков Б.С. Основы технологической механики тяжелых бетонов [Текст] / Б.С. Мосаков – Новосибирск: СГПУС, 2017 – 186 с.
9. Пухаренко Ю.В. Задачи технологической механики в развитии способов безопалубочного формования / Ю.В. Пухаренко, Г.М. Хренов // Вестник гражданских инженеров – 2017. – № 6 (65). – С. 152-157.
10. Хренов Г.М. Метод определения пластичности бетонных смесей / Г.М. Хренов // Вестник гражданских инженеров – 2018. – № 2 (67). – С. 147-154.
11. Хренов Г.М. Влияние объемной доли цементного теста на пластичность бетонной смеси / Г.М. Хренов // Архитектура-Строительство-Транспорт: материалы 74-й научной конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов университета, в 2-х ч. – 2018. – Ч. 1. – с 138-141.
12. Хренов Г.М. Влияние тонкости помола цемента на пластичность бетонной смеси / Г.М. Хренов // Актуальные проблемы строительства: материалы 71-й научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Актуальные проблемы современного строительства»: в 3-х ч. – 2018. – Ч.2. – с. 87-92.
13. Хренов Г.М. Влияние цементного теста на пластические свойства бетонных смесей / Г.М. Хренов // Современные материалы и передовые производственные технологии (СМПТ-2019): Тезисы докладов международной научной конференции. – 2019 – С. 44.
14. Рабинович Ф.Н. Дисперсно-армированные бетоны. – М.: Стройиздат, 1989. – 176 с.
15. Баженов Ю.М. Технология бетонов / Ю.М. Баженов – Москва: АСВ. 2007. – 528 с.
16. Жаворонков М.И. Развитие методов определения характеристик трещиностойкости фибробетона: Дис. ... канд. техн. наук / СПбГАСУ. – СПб., 2017.
17. Пантелеев Д.А. Полиармированные фибробетоны с использованием аморфно-металлической фибры: дис. ... канд. техн. наук / СПбГАСУ. – СПб., 2016.

18. Хренов Г.М. Дисперсное армирование как возможный инструмент регулирования пластичности бетонных смесей / Г.М. Хренов, А.В. Рерих // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: материалы международных академических чтений – 2019. – с. 45-53.

19. ГОСТ 30744-2001. Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка [Текст]. – Введен впервые 01 – 03 – 2002. – Москва: Госстрой России, 2001. – 29 с. 7.

20. ГОСТ 8735-88. Песок для строительных работ. Методы испытаний [Текст]. – Взамен ГОСТ 8735-75; введ. 30 – 06 – 1989. – Москва: Стандартинформ, 2006. – 23 с.

УДК 691.535

СВОЙСТВА СИЛИКАТНОГО МИКРОНАПОЛНИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ ГИДРОСИЛИКАТОВ КАЛЬЦИЯ

Шошин Евгений Александрович

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.
Россия, e-mail: shoshin234@mail.ru

***Аннотация.** Синтетические гидросиликаты кальция, получаемые помолом опок, извести и модифицирующего углевода (сахароза) способны разрушаться при повышенной температуре с образованием высокодисперсного порошка силикатов кальция (ПСК). Выявлена зависимость ряда физико-химических свойств ПСК от количества используемого модифицирующего углевода. Обнаружено, что увеличение количества модифицирующего углевода сопровождается ростом содержания в составе порошка частиц субмикронного (0,1-1 мкм) размерного диапазона. Дозировка модифицирующего углевода является эффективным средством управления гранулометрией ПСК, а также управления сроками схватывания цементного вяжущего, содержащего ПСК.*

***Ключевые слова:** синтетические гидросиликаты кальция, сахароза, гранулометрия, портландцемент, сроки схватывания*

PROPERTIES OF SILICATE MICROFILLER BASED ON SYNTHETIC CALCIUM HYDROSILICATES

Shoshin Evgeny Aleksandrovich

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia
e-mail: shoshin234@mail.ru

***Abstract.** Synthetic hydrosilicates of calcium, obtained by grinding flask, lime and modifying carbohydrate (sucrose). They are capable of breaking down at elevated temperatures with the formation of a highly dispersed calcium silicate powder (PSA). The dependence of some properties of PSA on the amount of the used modifying carbohydrate was revealed. It was found that an increase in the amount of modifying carbohydrate is accompanied by an increase in the content of particles in the composition of the powder of submicron (0,1-1 μm) size range. The dosage of the modifying carbohydrate is an effective means of controlling the granulometry of PSA, as well as controlling the setting time of a cement binder containing PSA.*

***Keywords:** synthetic hydrosilicates of calcium, saccharose, granulometry, Portland cement, setting time*

Одним из наиболее эффективных направлений цементосбережения является использование высокодисперсных наполнителей. Следствием этого является постоянный рост объемов производства наполнителей для цементных вяжущих [1].

Традиционно используемые для замещения цемента золы-уносы, доменные шлаки, а также эффективные пуццоланы (микрокремнезем, метакаолин) характеризуются локальностью производства, что обуславливает высокие логистические издержки их применения. В результате стоимость указанных материалов в разы выше стоимости цементного вяжущего.

Инертные наполнители значительно дешевле высокоактивных пуццоланов добавок, к тому же в сочетании с эффективными пластификаторами они способны обеспечить высокие реологическую эффективность цементных составов, что активно используется для экономии вяжущего [2, 3]. Как показывает анализ, снижение количества воды затворения играет решающую роль в повышении прочностных свойств композита [1], а значит роль активных пуццоланов может быть значительно снижена.

Снижение расхода воды затворения обеспечивается оптимальной гранулометрией не только цемента, но и микронаполнителя, в составе которого должны быть, в том числе, частицы субмикрометрического размерного ряда, т. е. меньше 1 мкм. Такой гранулометрический состав смеси в сочетании с эффективными пластифицирующими добавками позволяет реализовать 30-50 % снижение расхода воды затворения при постоянстве подвижности смеси [2, 3].

Известняк является основным источником инертных наполнителей в строительной отрасли. Это обусловлено его доступностью и низкими энергозатратами на помол [4]. В то же время известняковый наполнитель способен образовывать эттрингитоподобные фазы [5-6], что следует учитывать при прогнозировании долговечности изделий. С этой точки зрения, силикатные наполнители более предпочтительны, т. к. обладают структурой, родственной цементному камню и не вступают в химические реакции с его компонентами.

Последнее в полной мере относится и к синтетическим силикатным наполнителям, полученным в условиях совместного помола кремнеземсодержащего сырья (например, опоки), сахарозы и негашеной извести (или низкомарочного цемента) [7]. В условиях, по сути механохимического синтеза, формируются гидросиликатные фазы, где сахароза препятствует сращиванию их частиц, выступая своеобразным стабилизатором коллоидной системы.

Получаемые в ходе механохимического синтеза гидросиликатные фазы демонстрируют способность распадаться при термообработке с образованием порошкообразных силикатов кальция (ПСК), включающих частицы нано- (до 100 нм), субмикро- (от 0,1 мкм до 1 мкм) и мик-

рометрового диапазона размеров [8]. Такая гарнулометрия ПСК может быть полезна при оптимизации полимодальной упаковки частиц наполнителя. В данной статье рассматривается ряд физико-химических свойств ПСК.

В работе для синтеза ПСК использовался портландцемент ЦЕМ 1 42.5Н (Holcim (rus)), опока кремнистая карьера села Поливановка Саратовской области (табл. 1) и столовый сахар.

Таблица 1

Химический состав опоки					
Химический состав (% масс.)					
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	п.п.п.
81,6	6,2	< 1,5	1,4	1,15	8,15

Синтез ПСК осуществлялся совместным помолом цемента, опоки и раствора сахарозы при следующих соотношениях компонентов Цемент/Опока = 1/1 (масс. ч.), В/Т = 2, сахароза – 3 %, с последующей термообработкой полученных гидросиликатов кальция при температуре до 200° С и пониженном давлении (15 кПа).

Содержание остаточной свободной сахарозы в составе ПСК, определялось на образцах соответствующих водных экстрактов, полученных согласно ГОСТ 21119.2-75. Содержание сахарозы в экстрактах определяли фотоколориметрическим методом по фенол-серноокислой реакции с применением фотометра Multiscan Ascent (ThermoLabsystems, Финляндия).

Изменение сроков схватывания цементных паст, модифицированных ПСК, определялось при В/Ц 0,4 и содержании ПСК 30 % от массы цемента (по ГОСТ 310.3-76). Для исследования использовались ПСК, полученные с содержанием модифицирующей сахарозы от 2 до 9 %.

Морфологию частиц ПСК определяли с помощью просвечивающего электронного микроскопа Libra 120, Carl Zeiss (Германия).

Гранулометрический состав ПСК зависит от содержания сахарозы в составе суспензии, подвергаемой помолу, при этом кривые распределения частиц по размерам имеют полимодальный характер (табл. 2).

Таблица 2

Фракционный состав образцов ПСК в зависимости от содержания модифицирующего углевода

Содержание сахарозы, %	Фракции частиц, мкм									
	<0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-1	1-2	2-3	3-4	>4
2	43,8	0,9	6,2	8,8	10,9	25,0	0,2	1,8	1,6	0,8
5	56,9	19,8	7,8	7,7	5,1	2,5	0	0	0,1	0,1
8	3,5	29,1	3,2	0,1	0,1	50,3	13,7	0,0	0,0	0,0

Морфология частиц ПСК находится в зависимости от их размера: частицы размером более 0,1 мкм представляют собой агрегаты неправильной формы (рис. 1, а), частицы нанометрового диапазона имеют сферическую форму (рис. 1, б, в), при этом представляют собой агрегаты из более мелких частиц, т. е. имеют коагуляционную природу (рис. 1, б).

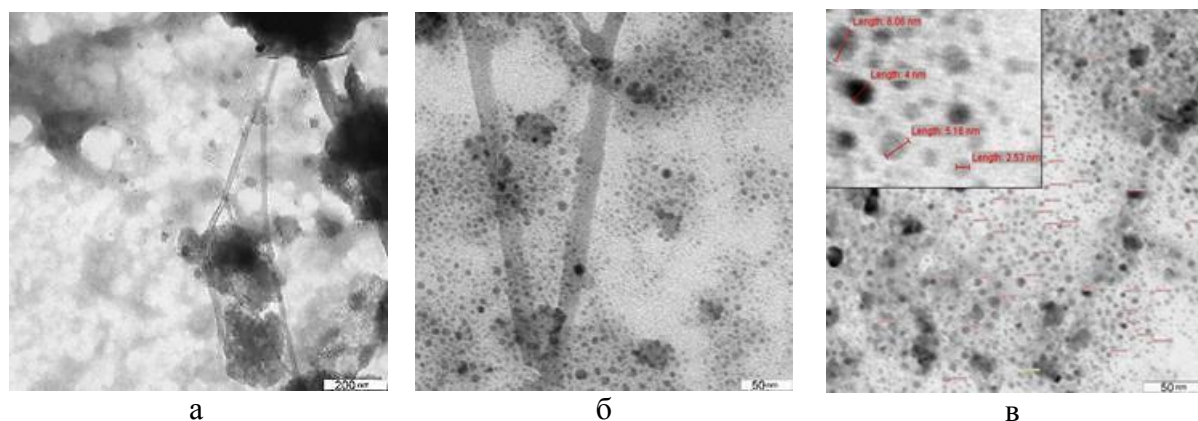


Рис. 1. Микроэлектронные фотографии образца ПСК при различных увеличениях

Поскольку сахара является эффективным замедлителем твердения цемента, было важно определить степень иммобилизации сахарозы силикатной матрицей (табл. 3).

Таблица 3

Содержание остаточной сахарозы в экстрактах ПСК

Исходное содержание сахаразы в составе водоминеральной суспензии, % масс. от массы твердой фазы суспензии	Содержание свободной сахарозы в экстракте	
	Концентрация сахаразы в экстракте, %	Доля от исходного количества стабилизирующей сахарозы, %
2,5	0,0052	0,372
5,0	0,0104	0,374
7,5	0,0154	0,369
10,0	0,0211	0,381
13,0	0,0351	0,486
15,0	0,0973	1,167
16,6	0,1650	1,789

Из представленных данных следует, что степень абсорбции сахарозы во всем диапазоне использованных концентраций превышает 98 % (табл. 4), т. е. наблюдается почти количественное поглощение углевода частицами ПСК. При этом 13 % концентрация сахарозы является пороговой – превышение этой концентрации сопровождается резким увеличением содержания свободной сахарозы в экстрактах.

Испытания цементных паст, в составе которых присутствовали ПСК, показали, что на процессы схватывания оказывают влияние два противо-

положных по своей природе эффекта: эффект ускорения схватывания (эффект крента) и эффект замедления схватывания, характерный для сахарозы. Если ПСК получали в присутствии малых доз модифицирующего углевода, (до 3,5 % включительно), то применение такого ПСК сопровождается эффектом крента, тогда как более высокие дозировки модифицирующего углевода, примененные при синтезе ПСК, обуславливают преобладание эффекта замедления схватывания (табл. 4).

Таблица 4

Влияние дозировки модифицирующего углевода в составе ПСК на начало схватывания модифицированных цементных паст (содержание ПСК 30 % от массы цемента)

Содержание стабилизирующей сахарозы в составе СКД, %	Начало схватывания модифицированной цементной пасты, мин (ч)
0	210
2	105
3,5	160
5	370
7,5	(9,5)
9	(21,0)

Таким образом, свойства ПСК, получаемых термообработкой гидросиликатов кальция, стабилизированных сахарозой, определяются концентрацией модифицирующего углевода и регулируются в широком диапазоне. С ростом содержания модифицирующего углевода в составе ПСК увеличивается доля частиц в диапазоне размеров 0,1-1,0 мкм, но одновременно увеличивается содержание остаточной свободной сахарозы, которая оказывает замедляющее действие на процессы схватывания цементной системы. Таким образом, ПСК характеризуются полифункциональным действием, характер которого может быть скорректирован согласно технологическим задачам производства, что позволяет рассматривать ПСК как перспективный наполнитель или добавку для цементных систем.

Список литературы

1. Vanderley M. John, Bruno L. Damineli, Marco Quattrone, Rafael G. Pileggi Fillers in cementitious materials – Experience, recent advances and future potential // Cement and Concrete Research. – 2018. – Vol. 114. – P. 65-78.
2. Müller H.S., Breiner R., Moffatt J.S., Haist M., Design and properties of sustainable concrete // Process. Eng. – 2014. – Vol. 95. – P. 290-304.
3. Proske T., Hainer S., Rezvani M., Graubner C.-A., Eco-friendly concretes with reduced water and cement contents – mix design principles and laboratory tests // Cement and Concrete Research. – 2013. – Vol. 51. – P. 38-46.
4. S. Tsivilis, E. Chaniotakis, G. Kakali, G. Batis, An analysis of the properties of Portland limestone cements and concrete // Cem. Concr. Compos. – 2002. – Vol. 24. – P. 371-378.

5. Weerdt K. De, Kjellsen K.O., Sellevold E., Justnes H., Synergy between fly ash and limestone powder in ternary cements // *Cem. Concr. Compos.* – 2011. – Vol. 33. – P. 30-38.
6. Eva Scholtzová, Daniel Tunega, Sergio Speziale. Mechanical properties of ettringite and thaumasite-DFT and experimental study // *Cement and Concrete Research.* – 2015. – Vol. 77. – P. 9-15.
7. Шошин Е.А., Поляков А.В., Буров А.М. О возможности синтеза наносиликатов кальция методом термолиза модифицированных смесей опока-СаО, подвергнутых совместному измельчению в присутствие воды // *Вестник БГТУ им. Шухова.* – 2016. № 3. – С. 152-158.
8. Шошин Е.А. Силикатные наполнитель, получаемый методом термолиза модифицированных гидросиликатов цемента // *Строительные материалы.* – 2017. – № 7. – С. 16-19.

УДК 693.5

**ПРОБЛЕМЫ УКЛАДКИ БЕТОННОЙ СМЕСИ
В МАССИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ**

**Косенко Дмитрий Александрович, Павлова Ирина Леонидовна,
Кочергина Мария Петровна**

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., Россия,*

e-mail: gim.dmkos@gmail.com, pavlovail29@mail.ru, m-kochergina@list.ru

***Аннотация.** В статье рассмотрены мероприятия, упрощающие технологию изготовления монолитных массивных конструкций. Приведены способы снижения экзотермии при твердении бетона.*

***Ключевые слова:** массивные конструкции, экзотермия, технология изготовления, самоуплотняющиеся бетонные смеси*

**PROBLEMS OF PLACING CONCRETE MIXTURE
IN MASSIVE STRUCTURES**

**Kosenko Dmitriy Aleksandrovich , Pavlova Irina Leonidovna,
Kochergina Maria Petrovna**

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia,

e-mail: gim.dmkos@gmail.com, pavlovail29@mail.ru, m-kochergina@list.ru

***Abstract.** The article discusses measures that simplify the technology of manufacturing monolithic massive structures. Methods for reducing exotherm during concrete hardening are presented.*

***Keywords:** massive structures, exotherm, manufacturing technology, self-compacting concrete mixtures*

В современном мире возведение зданий и сооружений из монолитного железобетона является актуальной темой на рынке строительства, и на это есть ряд причин: стремление к снижению себестоимости строительства, появление несъемной опалубки, запрос на индивидуальные объемно-планировочные решения.

К плюсам монолитного железобетона можно отнести: долговечность, надежность и высокую сейсмоустойчивость, отсутствие стыков и швов, расширенные архитектурные возможности. Основными недостатками являются высокие затраты труда в сравнении со строительством из сборных железобетонных конструкций, сложный технологический процесс возве-

дения при отрицательных температурах, необходимость применения современного оборудования и техники и другие.

Теоретические основы изготовления массивных монолитных конструкций, явление экзотермии при твердении бетона, упрощение технологии изготовления изложены в [1, 2]. Так, согласно [1] массивными конструкциями в строительстве являются конструктивные элементы или части конструкций (захватки бетонирования), минимальный геометрический размер которых составляет 0,8 м и более. Согласно [2], массивной конструкцией является конструкция, для которой отношение поверхности, открытой для ее высыхания, m^2 , к ее объему, m^3 , равно или меньше 2.

Массивные железобетонные конструкции применяются в мостостроении, гидротехническом, промышленном и гражданском строительстве, например, фундаменты зданий, фундаменты под оборудование, подпорные стенки, дамбы, тоннели и другие инженерные сооружения.

Применение монолитного железобетона при изготовлении массивных конструкций ставит перед собой ряд вопросов, которые требуют проработки и изучения:

1. По мере твердения бетона происходит разогрев внутренней части бетонного массива за счет процесса экзотермии, наружная часть массива разогревается в меньшей степени, так как температура наружного воздуха ниже температуры бетона. Повышенное тепловыделение при гидратации цемента является неблагоприятным фактором и приводит к развитию термических напряжений и снижению целостности и трещиностойкости конструкций [3];

2. Упрощение технологии изготовления монолитных массивных конструкций;

3. Контроль качества уплотнения бетонной смеси в массивных конструкциях становится технологически трудным в исполнении.

Целью работы является анализ способов решения имеющихся проблем при бетонировании массивных конструкций.

В качестве объекта исследования выбраны технологические решения, направленные на получение качественных монолитных массивных конструкций.

При бетонировании монолитных массивных конструкций необходимо рассчитывать темпы поступления бетонной смеси на объект для непрерывности подачи и укладки бетонной смеси.

Способ укладки бетонной смеси нужно выбирать таким образом, чтобы обеспечить монолитность конструкции [4].

В [1] приведены следующие правила укладки бетонной смеси в массивные конструкции:

- в случае бетонирования массивов по блокам, бетонирование замыкающих блоков следует проводить только после усадки и охлаждения бетона смыкаемых блоков;

– бетонирование фундаментов под оборудование, воспринимающих динамические нагрузки от этого оборудования, следует проводить без перерыва.

Уход за свежесуложенным бетоном должен обеспечить благоприятные температурно-влажностные условия для формирования структуры и свойств твердеющего бетона.

В [5] описываются основные способы снижения температуры при укладке бетона в массивные конструкции, и указывается на тот факт, что регулирование тепловыделения бетонной кладки следует осуществлять как путем уменьшения общего количества тепла экзотермии, выделяющегося при твердении бетона, так и изменением кинетики тепловыделения.

Проблему снижения выделения тепла можно решить различными способами. Так как экзотермия бетона напрямую зависит от минералогического состава цемента, возникает необходимость использования цементов с пониженной скоростью тепловыделения (с низкой экзотермией).

Наиболее весомой причиной высокой экзотермии при бетонировании массивных конструкций является повышенный расход цемента [3]. Для снижения расхода цемента предлагается укладывать в конструкцию бетонную смесь с отдельными крупными камнями, называемые «изюмом». Крупность камней – более 150 мм, но также размеры не должны превышать 1/3 наименьшего размера бетонизируемого без перерыва блока или массива и крупности наименьшей ячейки арматурной сетки. Данный вариант технологии возможно применять при системе укладки бетонной смеси по схеме «кран-бадья».

Влиять на экзотермию бетона также можно при помощи искусственного охлаждения [5]. Наиболее простым способом является охлаждение заполнителей и воды при изготовлении бетонной смеси. Охлаждение заполнителей производится на заводе-изготовителе в специальных охлаждающих установках, где заполнители обрызгиваются холодной водой. Также возможным способом понижения температуры является поверхностное охлаждение водой.

Полив бетона эффективен при высоте конструкции до 1 м. Поэтому полив следует осуществлять через 8-12 ч после снятия пленки и производить непрерывно с прекращением за 10-12 ч до укладки смежного по высоте блока. Трубный метод охлаждения свежесуложенной бетонной смеси заключается посредством пропуска хладоносителя – охлажденной воды – через систему заложенных в бетоне труб – змеевиков.

Так как в массивных конструкциях максимальная температура возникает в ядре, то следует учесть технологию укладки бетонной смеси «от середины к краю». Наиболее эффективно осуществлять бетонирование конструкций при температуре наружного воздуха 5-10° С.

При уплотнении бетонной смеси в массивных конструкциях сложно осуществить качественный операционный контроль при укладке бетонной

смеси. Применение самоуплотняющихся бетонов имеет организационно-технологические преимущества перед обычными бетонами и не требует уплотнения при его укладке.

В таблице 1 приведено сравнение технико-экономических показателей обыкновенной и самоуплотняющейся бетонной смеси.

Таблица 1

Технико-экономическое сравнение	
Самоуплотняющаяся бетонная смесь	Обыкновенная бетонная смесь
Стоимость 1 м ³ бетона, рубли	
6000	3250
Требуемое оборудование для уплотнения бетонной смеси и его стоимость	
–	Ручной глубинный вибратор – 1000 руб./сутки
–	Трансформатор, преобразователь частот – 1000 руб./сутки
Оплата труда рабочих, рубли в смену	
2500 руб./смена (снижается в связи с исключением процесса уплотнения бетонной смеси, снижения численности рабочих в бригаде)	2500 руб./смена (возможно увеличение количества рабочих смен)
Сроки строительства	
Сокращение срока строительства (в связи с исключением процесса уплотнения бетонной смеси)	Увеличение срока строительства (в связи с наличием технологического процесса – уплотнение бетонной смеси)

В результате проведенной работы можно сделать следующие выводы:

1. Правильная организация бетонирования массивных конструкций позволяет достичь экономически эффективных показателей.

2. Необходимо отслеживать инновационные достижения и своевременно внедрять их в производство.

3. Основными мероприятиями, упрощающими технологию изготовления монолитных массивных конструкций, являются: применение цементов с низкой экзотермией, охлаждение заполнителей при приготовлении смеси, охлаждение свежееуложенной конструкции поверхностным и трубным методами.

4. Проведенное технико-экономическое сравнение показало, что применение самоуплотняющихся бетонных смесей позволяет снизить трудоемкость и продолжительность работ, сократить сроки строительства.

Список литературы

1. СП 435.1325800.2018 Конструкции бетонные и железобетонные монолитные. Правила производства и приемки работ. – М.: Минстрой России, 2018. – 75 с.

2. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. СНиП 52-01-2003 (с изм. 1, 2, 3). – М.: Минстрой России, 2018. – 161 с.

3. Соколов С.Б. Методы предупреждения трещинообразования в железобетонных плитно-ребристых пролетных строениях мостов на стадии разогрева бетона от экзотермии цемента: дис. ... канд. техн. наук. М.: ЦНИИС, 2006. – 229 с.

4. Фомина Н.Н. Исследование эффективности пластифицирующих добавок в мелкозернистых бетонах / Н.Н. Фомина, Э.А. Барсегян, Д.В. Слюняев, Д.Е. Балин // Техническое регулирование в транспортном строительстве. (электронный журнал). – 2017. – № 1 (21). – С. 22-26.

5. СТО НОСТРОЙ 2.30.214-2016. Конструкции монолитные бетонные и железобетонные. Требования к производству работ. Правила и методы контроля.

УДК 69.05

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА УСТРОЙСТВА ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ МОСТОВ С РЕЗИНОВЫМ КОМПЕНСАТОРОМ

Мухаметрахимов Рустем Ханифович¹, Алиуллова Индира Рафаиловна²

¹*Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Россия*

e-mail: muhametrahimov@mail.ru

²*ООО «Фирма «Гидромонтаж», Россия, г. Казань*

e-mail: aliullova.indira@gmail.com

***Аннотация.** Деформационные швы оказывают существенное влияние на долговечность мостовых сооружений, что обуславливает повышенные требования к выбору конструкции швов и качеству работ по их установке. Выполнен анализ причин возникновения дефектов, систематизированы данные по контролю качества устройства деформационных швов с резиновыми компенсаторами при ремонте мостовых сооружений.*

***Ключевые слова:** мостовое сооружение, деформационный шов, технология и организация строительства, дефекты, повреждения, контроль качества*

QUALITY CONTROL FOR EXPANSION JOINTS WITH RUBBER COMPENSATORS OF BRIDGE CONSTRUCTIONS

Mukhametrakhimov Rustem Khanifovich¹, Aliullova Indira Rafailovna²

¹*Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia*

e-mail: muhametrahimov@mail.ru

²*LTD «Firm «Gidromontazh», Russia, Kazan*

e-mail: aliullova.indira@gmail.com

***Abstract.** Expansion joints have a significant impact on the durability of bridge construction, which requires special attention to the choice of joint construction and the quality of work on their installation. The analysis of the causes of defects is carried out, quality control for expansion joints with rubber compensators of bridge constructions are systematized.*

***Keywords:** bridge construction, expansion joint, technology and organization of construction, defects, damage, quality control, rubber compensator*

Мостовые сооружения испытывают высокие нагрузки от транспортных средств, природных факторов, при этом они имеют длительный срок эксплуатации [1-3].

Многие мостовые сооружения имеют дефекты и повреждения, при этом продолжают эксплуатироваться, что сокращает их срок службы и может приводить к авариям и разрушениям [4].

Обеспечение длительного срока службы, надежности и безопасности строительных конструкций зданий и сооружений обеспечивается посредством соблюдения при их строительстве, ремонте и реконструкции требований контроля качества [5-12], современных технологий производства работ [13-20] и требований безопасности [21].

Одним из распространенных дефектов мостовых сооружений является нарушение герметичности деформационных швов, что влечет за собой повреждение нижележащих конструкций мостов, что снижает срок их службы, влияет на плавность и комфортность движения по сооружениям [22]. Поэтому к деформационным швам предъявляются высокие требования, такие как долговечность, герметичность, устойчивость к различным воздействиям и нагрузкам на мостовое полотно. Существенное влияние деформационные швы оказывают и на безопасность дорожного движения [23].

Исходя из вышесказанного, стоит отметить актуальность вопроса, связанного с соблюдением технологии устройства деформационных швов и системы контроля качества во время ремонта мостового сооружения, что и является целью работы.

Дефекты деформационных швов можно разделить на две группы: нарушение герметичности и повреждение мостового полотна. Такие дефекты заметны при визуальном осмотре деформационных швов и находящихся ниже конструкций [24].

Так, например, на Булачном мосту в г. Казани при визуальном осмотре мостового сооружения были обнаружены дефекты, связанные с нарушением герметичности конструкции деформационного шва, в результате чего происходит систематическое замачивание нижележащих конструкций, их загрязнение, а также выщелачивание бетона на опорах, и шкафных стенках мостового сооружения (рис. 1).

Еще одним дефектом деформационного шва являются продольные и поперечные трещины в местах стыка пролетных строений между собой и пролетных строений с подходами (рис. 2). Это нарушение не обеспечивает плавности сопряжения с покрытием проезжей части и приводит к повышению динамического воздействия временной нагрузки на несущие конструкции.

Возможными причинами дефектов деформационных швов мостов являются низкая деформативность асфальтобетона, низкая долговечность применяемых материалов.

Основными причинами нарушения работы деформационных швов являются нарушение технологии при производстве работ, неквалифицированный или несвоевременный ремонт и несоблюдение системы контроля качества при производстве работ [25, 26].



Рис. 1. Замачивание и загрязнение ригеля и мостового сооружения



Рис. 2. Разрушение покрытия проезжей части в районе продольного деформационного шва

Для повышения срока службы деформационных швов необходимо применять эффективные конструкции деформационных швов. Частое применение при ремонте железобетонных и сталежелезобетонных мо-

стовых сооружений находят однопрофильные деформационные швы с резиновыми компенсаторами [27]. Они обеспечивают полную герметичность и создают более надежные конструкции для небольших помещений. К плюсам данной конструкции можно отнести простоту установки, обеспечение плавности проезда, а также снижение трудоемкости их устройства.

Недостатком является ограничение применение данного деформационного шва сейсмичностью районов, также стоит отметить необходимость точного контроля качества на всем этапе его монтажа [28].

На этапе входного контроля по устройству однопрофильного деформационного шва следует проверить наличие документов о его качестве, актов освидетельствования ранее выполненных работ, особое внимание стоит уделить качеству торцевых поверхностей фасонки, ширине резинового компенсатора, наличие рисок, определяющих проектное положение.

Мастер, прораб и геодезист на этапе операционного контроля проверяют выполнение следующих операций: установка деформационного шва в проектное положение, параллельность осей окаймления, отсутствие относительных смещений элементов, соединенных сваркой, ширину зазора окаймления, наличие щелей и неплотностей в месте крепления компенсаторов к окаймлениям, наличие ржавчины и необработанных мастикой мест, а также качество сварочных [29].

Во время приемочного контроля проводится проверка обеспечения герметичности, качества гидроизоляции и фактического положения шва работниками службы качества, мастером или прорабом, представителями технадзора заказчика.

Таким образом, в статье показано, что для повышения срока службы мостовых сооружений следует использовать эффективные виды деформационных швов, например швы с резиновым компенсатором, соблюдать технологию и требования контроля качества на всем этапе производства ремонтных работ мостового сооружения.

Список литературы

1. Майстренко И.Ю., Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Кокодеев А.В. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 1 // Транспортные сооружения. 2017. Т. 4. № 4. С. 11. DOI: 10.15862/13TS417.
2. Карамышева А.А., Строев Д.А., Колотиенко М.А., Коник А.И. Анализ и систематизация причин разрушения мостовых сооружений // Инженерный вестник Дона. 2019. № 3 (54). С. 34.
3. Майстренко И.Ю., Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Успанов А.М. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 3. // Транспортные сооружения. 2018. Т. 5. № 1. С. 8. DOI: 10.15862/08SATS118.
4. Овчинников И.И., Майстренко И.Ю., Овчинников И.Г., Успанов А.М. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 4. // Транспортные сооружения. 2018. Т. 5. № 1. С. 5. DOI: 10.15862/05SATS118.

5. Мухаметрахимов Р.Х., Панченко А.А. Контроль качества при изготовлении и монтаже трубопроводов в ППУ ПЭ изоляции // Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных и очистных сооружений. 2019. Т. 1. № 1 (44). С. 60-64.
6. Мухаметрахимов Р.Х., Лукманова Л.В., Камалиев М.И. Особенности системы контроля качества при устройстве навесных вентилируемых фасадных систем // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. № 1 (43). С. 234-240.
7. Пименов С.И. Влияние гидромеханохимической активации цемента на физико-технические свойства цементных композиций // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов. Материалы XIII Международной научно-технической конференции молодых ученых, посвященной памяти профессора В.И. Калашникова. 2018.
8. Мухаметрахимов Р.Х., Панченко А.А. Особенности технологии изготовления, монтажа и контроля качества трубопроводов в ППУ ПЭ изоляции // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. № 2 (44). С. 246-254.
9. Мухаметрахимов Р.Х., Хузин А.Ф., Хамидуллина Д.Д. Особенности технологии устройства и контроля качества монолитных сталефибробетонных перекрытий с использованием пустотообразователей // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. № 3 (45). С. 228-235.
10. Pimenov S.I. Features of the structure formation of a cement stone after hydromechanochemical activation of cement / S.I. Pimenov // Russian journal of building construction and architecture. № 3(43). 2019. P. 46-58.
11. Мухаметрахимов Р.Х., Панченко А.А. Изучение особенностей системы контроля качества при строительстве наружных сетей водоснабжения и канализации // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 4 (42). С. 360-367.
12. Пименов С.И. Особенности структурообразования цементного камня после гидромеханохимической активации цемента / С.И. Пименов // Научный журнал строительства и архитектуры. 2019. № 2 (54). С. 77-88.
13. Мухаметрахимов Р.Х., Изотов В.С. Повышение физико-механических свойств и долговечности фиброцементных плит на основе целлюлозных волокон // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. № 9 (645). С. 101-107.
14. Изотов В.С., Мухаметрахимов Р.Х., Сабитов Л.С. Цементно-волоконный композиционный материал для фиброцементных плит // Строительные материалы. 2011. № 5. С. 20-21.
15. Мухаметрахимов Р.Х., Галаутдинов А.Р., Дикина А.Н. Технология изготовления гипсоволокнистых плит // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2016. № 7. С. 105-107.
16. Мухаметрахимов Р.Х., Вахитов И.М. Аддитивная технология возведения зданий и сооружений с применением строительного 3D-принтера // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 4 (42). С. 350-359.
17. Pimenov S.I. Heavyweight concrete based on hydromechanochemically activated binder // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 890. DOI:10.1088/1757-899X/890/1/012098.
18. Мухаметрахимов Р.Х., Галаутдинов А.Р., Дикина А.Н. Технология изготовления и монтажа модифицированных гипсоволокнистых листов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 2 (36). С. 194-200.

19. Мухаметрахимов Р.Х. Технология изготовления и организация производства цементно-волокнистых плит // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 2 (36). С. 241-246.
20. Vdovin E., Mavliev L., Stroganov V. Interaction of clay soil components with portland cement and complex additive based on octyltriethoxysilane and sodium hydroxide: dig. of art. IOP Conference. Series: Materials Science and Engineering / 2020. 890 012031. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012031.
21. Пименов С.И. Повышение безопасности и эффективности технологического процесса в строительстве путем его автоматизации // Безопасность жизнедеятельности. 2019. № 5 (221). С. 16-19.
22. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Майстренко И.Ю., Кокодеев А.В. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 2. // Транспортные сооружения. 2017. Т. 4. № 4. С. 12. DOI: 10.15862/14TS417.
23. Козырева Л.В., Китарь Е.В. Аварии мостовых сооружений // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2015. № 1 (9). С. 37-42.
24. Козлачков С.В., Овчинников И.И., Овчинников И.Г. Рекомендуемые требования к деформационным швам мостовых сооружений // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. 2013. Т. 2. С. 340-345.
25. Еремеев В.П. Предельные и аварийные состояния мостов: Казань: КГАСА, 2004. 204 с.
26. Козлачков С.В., Овчинников И.И., Овчинников И.Г. Исследование отечественных деформационных швов мостовых сооружений // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. 2013. Т. 2. С. 328-333.
27. Мухаметрахимов Р.Х., Алиуллова И.Р. Совершенствование системы контроля качества устройства деформационных швов с резиновым компенсатором при ремонте мостовых сооружений // Известия КГАСУ. 2020. № 3 (53). С. 47-55.
28. Алексеев С.В., Трепалин В.А., Шевченко С.М., Трифонова А.А. Современные методы совершенствования конструкций деформационных швов автодорожных мостов // Путь навигатор. 2020. № 43 (69). С. 3.
29. Козлачков С.В., Овчинников И.И., Валиев Ш.Н., Овчинников И.Г. Требования к деформационным швам мостовых сооружений // Наукоедение: Интернет-журнал. 2012. № 3 (12). С. 34.

УДК 69.04

ПРИМЕНЕНИЕ ОПЕРАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ К ЗАДАЧЕ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Снарский Сергей Вячеславович, Грибанова Наталья Федоровна
*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, e-mail: snarskysv@yandex.ru*

***Аннотация.** Исследование организации производства бетонных работ с применением теории обслуживания. Модель применяется для имитационного моделирования. Изучается устойчивость модели и оцениваются операционные показатели системы.*

***Ключевые слова:** бетонные работы, теория обслуживания, имитационное моделирование*

APPLICATION OF OPERATIONAL MODELING TO THE PROBLEM OF ORGANIZING CONSTRUCTION PROCESSES

Snarsky Sergey Vyacheslavovich, Gribanova Natalya Fedorovna
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia
e-mail: snarskysv@yandex.ru

***Abstract.** Study of the organization of production of concrete works using the theory of maintenance. The model used for simulation. We study the stability of the model and evaluated operational performance of the system.*

***Keywords:** concrete works, maintenance theory, simulation*

Повышение эффективности строительных процессов является важной задачей современного строительства. Среди возможных направлений – сокращение приобъектных складов, что, в свою очередь, вызывает потребность в дополнительных работах по планированию производственного процесса с целью обеспечения его непрерывности. При производстве работ с использованием материалов, особые требования предъявляются к бесперебойности процесса.

При возведении конструкций из монолитного железобетона существуют ограничения на длительность перерывов при бетонировании без устройства рабочих швов, суть которых состоит в том, что продолжительность перерыва между укладкой смежных слоев бетонной смеси не должна превышать срок начала схватывания бетонной смеси предыдущего слоя (п. 5.3.9 [1]).

Ограничения накладываются и на максимальная продолжительность транспортирования бетонной смеси до места укладки с завода (различаются в зависимости от типа бетонной смеси) (п. 9.1 [2]). В этот промежуток времени входит фактическое время доставки до объекта, а также время, потраченное в ожидании разгрузки.

Наряду с вышеперечисленными основными этапами (доставка и разгрузка) далее учтем еще две обязательных технологических этапа: промывка емкости после разгрузки и мойка колес перед выездом со строительной площадки на дороги общего пользования.

Необходимость пункта промывки емкости АБС на строительной площадке обосновывается [3].

Процедура промывки емкости АБС регламентируется производителем [4].

Наконец, в [5] регламентируется мойка колес. В частности, указывается, что пункт мойки колес устанавливается «в случае необходимости по требованию органа местного самоуправления» (п. 6.2.7). Продолжительность однократного цикла мойки зависит от типа применяемого моечного оборудования и может составлять 0,5 часа [6], при этом общий темп работ

может быть ограничен производительностью входящих в комплект моечного поста очистных сооружений.

Учитывая вышеизложенное, рассматриваемая система порождает требование высокой регулярности происходящих процессов. Кроме того, она оказывается подвержена воздействию многочисленных случайных факторов. Поставим задачу рационального планирования производственных процессов на основе адекватных математических моделей, что позволит достичь цели повышения эффективности использования ресурсов.

Для формализации производственных задач рассматриваемого типа нашел широкое применение метод операционного анализа, базирующийся на использовании моделей массового обслуживания. В методе производственный процесс рассматривается в качестве потока заявок на обслуживание, который поступает в адрес устройств обслуживания. Традиционная классификация моделей по Кендаллу предусматривает характеристику потока заявок, потока обслуживания, количества устройств обслуживания [7]. Ниже приведем формальное описание характеристики рассматриваемой модели производственной системы.

Прибывающие на строительный объект АБС образуют входной поток заявок на обслуживание. Обычно при анализе систем массового обслуживания в качестве модели входного потока принимается пуассоновский поток, предполагающий независимость поступления заявок. Кроме того, формулируются некоторые ограничения, накладываемые на вероятность поступления заявки в определенный момент времени, что имеет целью получение модели без последствия (эффекта памяти). Подобная модель входного потока облегчает получение содержательных результатов при аналитическом исследовании процесса обслуживания. Адекватность такой модели экспериментально подтверждается для широкого диапазона применений. Из тех же соображений часто используется представление работы прибора обслуживания в форме пуассоновского потока.

Однако, рассматриваемый пример имеет ряд особенностей, которые затрудняют использование модели пуассоновского потока для описания входящего потока заявок на обслуживание. Например, поток поступающих на строительных площадку АБС, изначально подчинен графику поставок, хотя и подвергается действию случайных факторов. В целях описания такого потока представляется более обоснованным применение в качестве модели нормальной последовательности $\{\xi_i\}$. В качестве элемента последовательности ξ_i может выступать либо отклонение i -го АБС от графика поставок, или промежутки во времени между приездом i -го АБС и следующего за ним.

Гипотетически, применяя модели нормальных последовательностей для описания последующих операций, можно получать итоговый результат как сумму нормальных последовательностей. Это упрощает задачу до ее

тривиальности, так как сумма нормальных последовательностей обладает тем же свойством, а ее характеристики (среднее математическое ожидание и средняя дисперсия) можно получить арифметическими операциями.

Вместе с тем, такой метод также оказывается не лишенным недостатков. Например, прибывший раньше графика АБС может не попасть под разгрузку по причине занятости поста. Это означает, что складывать почленно нормальные последовательности в рамках задачи не вполне корректно. Иначе же не только результирующая, но и промежуточные суммарные последовательности отклоняются от нормальных, вследствие чего аналитическое исследование задачи существенно затрудняется.

Тем не менее перечисленные модели (модель массового обслуживания и модель аддитивных нормальных последовательностей) важны для рассматриваемой задачи. Они являются экстремальными реализациями рассматриваемой модели, то есть задают границы ее поведения. Результаты, полученные при построении рассматриваемой модели должны обладать некоторыми промежуточными характеристиками. Это может быть использовано на этапе проверки адекватности модели.

Рассмотрим далее применение модифицированного аппарата последовательностей для построения модели входного потока заявок. В качестве элемента последовательности $\{\xi_i^1\}$ примем отклонение от расчетного времени прибытия.

Представим в первом приближении однопоточную модель заявок на обслуживание. После допустимо обобщение до многопоточной модели при наличии нескольких постов разгрузки АБС, в том числе, функционирующих в различном темпе. Помимо этого, при учете других транспортных средств, кроме АБС, дополнительный поток заявок может быть направлен не на вход системы, а к одному из ее промежуточных звеньев.

В результате в рассматриваемом случае имеем многозвенную систему обслуживания: разгрузка, промывка емкости, мойка колес. Можно рассмотреть систему как многоканальную при наличии нескольких вариантов точек выгрузки бетонной смеси, а также нескольких моечных постов. В рамках настоящей работы рассмотрим одноканальную систему обслуживания.

Для описания процесса обслуживания примем модель нормальной последовательности. На основании того, что время обслуживания на каждом этапе может быть представлено как сумма некоторого нормативного (расчетного) времени обслуживания и отклонения от него, обусловленного многочисленными независимыми случайными факторами.

Введем нумерацию этапов этапы и примем соответствующие обозначения.

T^1 – расчетный период прибытия АБС на объект. T^2 – расчетная продолжительность разгрузки. При этом полагаем, что все разгрузки одинаковы по сути и требуют одинаковых затрат времени ($T_i^1 = T^1$, $T_i^2 =$

T^2). Формулируя аналогичные предположения, обозначим T^3 – расчетная длительность промывки емкости, T^4 – расчетная длительность мойки колес.

$\{\xi_i^1\}$ – последовательность отклонений времени прибытия АБС от расчетного.

$\{\xi_i^2\}$ – последовательность отклонений продолжительности разгрузки от расчетного значения.

$\{\xi_i^3\}$ – последовательность отклонений продолжительности промывки емкости от расчетного значения.

$\{\xi_i^4\}$ – последовательность отклонений продолжительности мойки колес от расчетного значения.

Для изучения поведения системы сконструируем имитационную модель. Допустим, что в начальный момент времени $t = 0$ все пункты обслуживания свободны, а на площадку запланирован к прибытию первый АБС ($i = 1$). При этом прибывший ранее АБС не начинает разгрузку до момента $t = 0$. Последующее движение АБС по этапам обслуживания происходит беспрепятственно и заканчивается выходом его из системы. Каждый из последующих АБС ($i > 1$) движется аналогично, но так, чтобы следующий пункт обслуживания был свободен от предыдущего АБС.

Последнее условие допускает различные толкования. Например, в качестве расчетной продолжительности промывки можно рассматривать именно промежуток времени, в течение которого производится промывка АБС, который начинается в момент подъезда АБС к пункту промывки и заканчивается в момент отъезда АБС от пункта промывки. Определенная таким образом фактическая продолжительность промывки существенно меньше (до 10 раз), чем продолжительность разгрузки.

Руководствуясь иными соображениями, производительность пункта промывки с системой сепарации твердых отходов и замкнутым циклом оборота воды конечна и определяется она не только длительностью промывки АБС, но и длительностью цикла переработки отходов. Регулирование по степени чистоты переработанного продукта может существенно влиять на длительность цикла. Кроме того, некоторое влияние оказывает состояние АБС, подвергнутого промывке.

Производительность подсистемы регенерации зависит от конструкции промывочной установки и может изменяться в широких пределах. Вместе с тем имеются некоторые рациональные основания, чтобы увязывать темп вспомогательных процессов обслуживания (доставки, промывки и мойки) с темпом основного процесса – укладки бетонной смеси.

Если исходить из детерминированной модели (когда все операции обслуживания происходят в соответствии с графиком без случайных отклонений), либо из модели аддитивных нормальных последовательностей, то ускорение вспомогательных процессов представляется неоправданным, так как требует затрат, но мало влияет на функционирование процесса

в целом. Возможен некоторый положительный эффект за счет более раннего освобождения АБС.

В рамках модели массового обслуживания равенство интенсивности входящего и обслуживающего потоков означает коллапс системы, правда только при достижении установившегося режима, то есть в весьма долгосрочной перспективе. Рассматриваемая задача предполагает изучение работы системы на конечных и сравнительно коротких промежутках времени. Перечисленные соображения свидетельствуют в пользу отхода от единого темпа для всех пунктов обслуживания и повышения по мере продвижения от одного пункта к другому. Тем не менее вопрос о том, насколько должно ускоряться обслуживание от начала к концу (учитывая затраты на повышение темпа обслуживания), остается открытым.

Имитационное моделирование предполагает изучение функционирования модели на конкретных значениях продолжительности обслуживания, поэтому в качестве первого приближения продолжительность промывки уравниваем с продолжительностью цикла основного процесса (укладки бетонной смеси). При этом будем полагать, что АБС присутствует на пункте промывки до окончания срока, соответствующего принятому значению продолжительности промывки.

Соображения, изложенные выше относительно пункта промывки (включая возможность отъезда АБС по окончании мойки и продолжение процесса очистки оборотной воды), в равной степени могут быть применены и к модели пункта мойки колес.

Поэтому продолжительность цикла мойки колес уравниваем с продолжительностью цикла основного процесса (укладки бетонной смеси) с последующей возможной корректировкой.

Период прибытия АБС также в первом приближении уравниваем с продолжительностью цикла основного процесса. В рамках теории массового обслуживания к корректировке периода прибытия в сторону увеличения располагает условие

$$\lambda \ll \mu,$$

где λ – интенсивность входного потока, μ – интенсивность потока обслуживания, предотвращающая коллапс системы обслуживания.

С другой стороны, такая корректировка чревата простоями основного процесса (что очень нежелательно) вплоть до разрывов в бетонировании и образования холодных швов.

С целью оценки адекватности моделирования зададимся вопросом о ключевых операционных характеристиках системы. В качестве параметров, характеризующих систему, рассмотрим задержку окончания дневного цикла по сравнению с расчетным значением;

Дополнительно отметим, что операционные параметры являются случайными величинами, которые сами по себе могут быть описаны как

совокупность математического ожидания и дисперсии либо при необходимости путем указания закона распределения.

Варьируя исходные данные для моделирования ($T^1, T^2, T^3, T^4, \xi_i^1, \xi_i^2, \xi_i^3, \xi_i^4$), будем оценивать операционные показатели системы:

– среднее значение увеличения продолжительности рабочего дня по сравнению с расчетным значением;

– вероятность увеличения продолжительности рабочего дня сверх наперед заданного значения;

Поскольку ожидание заранее прибывшего к пункту обслуживания АБС приводит к потерям времени, то задержки в работе системы с течением времени будут только накапливаться. Это не позволяет ожидать вхождения системы в установившийся режим в течение конечного времени. Более того, это является основанием для формулировки вопроса о том, сколько в среднем проработает система, пока ее отклонение не превысит заданного допустимого уровня. Правомерность такой постановки вопроса обусловлена как возможностью периодического пересмотра графиков производства работ, так и конечностью объемов отдельных работ по бетонированию, на которые распространяется требования непрерывности процесса.

Для вычислительной реализации имитационной модели применим MS Excel.

Для генерирования нормально распределенных случайных величин используем встроенный генератор случайных чисел – функцию слчис() в комбинации с функцией норм.обр().

Объем моделирования установим равным 7500 разыгранных сценариев.

Примем 18 последовательных реализаций технологического цикла в течение рабочего дня, расчетная продолжительность которого (от прибытия первого АБС на разгрузку до отбытия последнего АБС с мойки) составит 10 часов.

Результаты моделирования представлены на нижеследующих диаграммах.

Приведенный ниже график показывает закон распределения увеличения продолжительности рабочего дня при заданных параметрах моделирования. Отметим, что построенная модель преобразует нормально распределенные входные величины в выходную, также имеющую нормальное распределение. Во-вторых, наблюдается смещение математического ожидания задержки. При заданных параметрах моделирование оценка математического ожидания задержки составляет $M = 82$ мин, оценка стандартного отклонения $\sigma = 31$ мин.

Сравнивая с результатами, полученными при использовании альтернативных моделей, отметим следующее.

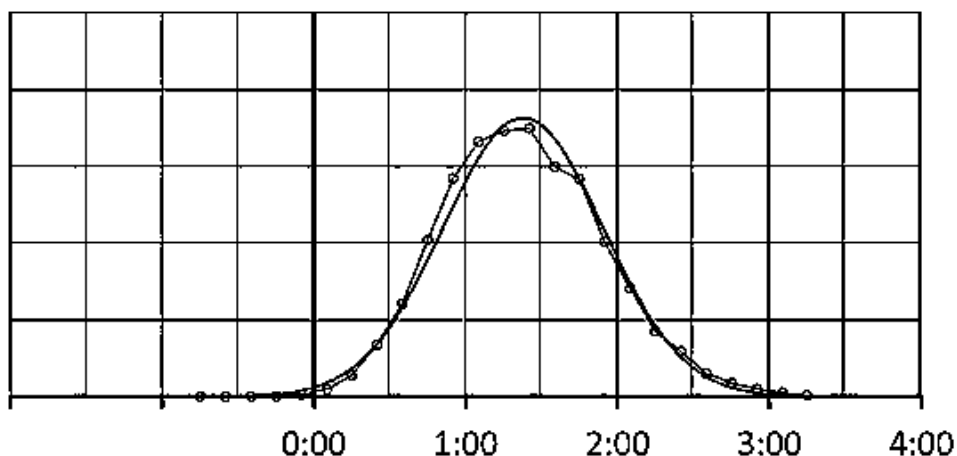


Рис. 1. Тонкая линия с маркерами соответствует экспериментальной кривой, линия без маркеров – ее гауссовой аппроксимации

При использовании детерминированной модели увеличение продолжительности рабочего дня, очевидно, будет нулевым, поскольку значение, принимаемое в качестве расчетного, получено с использованием именно этой модели.

При использовании модели нормальных последовательностей увеличение продолжительности рабочего дня будет иметь нулевое математическое ожидание (поскольку слагаемые этой модели имеют симметричное относительно нуля распределение). Дисперсия в этом случае будет иметь некоторое значение, конкретная величина которого здесь не важна.

При использовании модели массового обслуживания при заданных параметрах моделирования на каждом этапе обслуживания будем иметь ситуацию $\lambda = \mu$, означающую коллапс системы применительно к установленному режиму функционирования. Однако рассматриваемая задача предполагает ограниченный период функционирования до «сброса», поэтому содержательная интерпретация результатов, полученных с применением модели массового обслуживания, в рассматриваемом случае весьма затруднена.

Рассмотрим влияние разброса (количественно оцениваемого через соответствующее стандартное отклонение σ) отдельных параметров системы на увеличение продолжительности рабочего дня. Зависимость увеличения продолжительности рабочего дня от разброса σ_1 значений времени прибытия АБС на погрузку представлена на графике ниже.

Анализ вышеприведенного графика позволяет сделать вывод о том, что не отражается на дисперсии конечного результата. Вместе с тем влияние дисперсии времени прибытия на оценку математического ожидания увеличения продолжительности рабочего дня ясно прослеживается. График показывает, что в рамках рассматриваемой модели стохастическое представление задержки прибытия является оправданным.

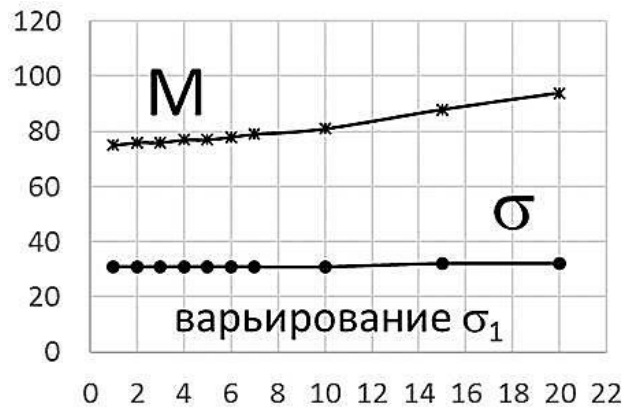
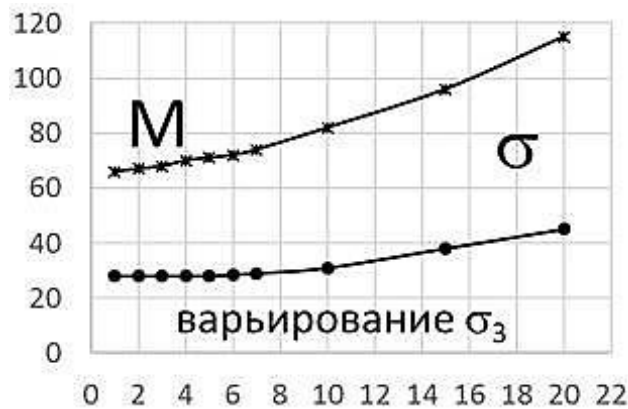
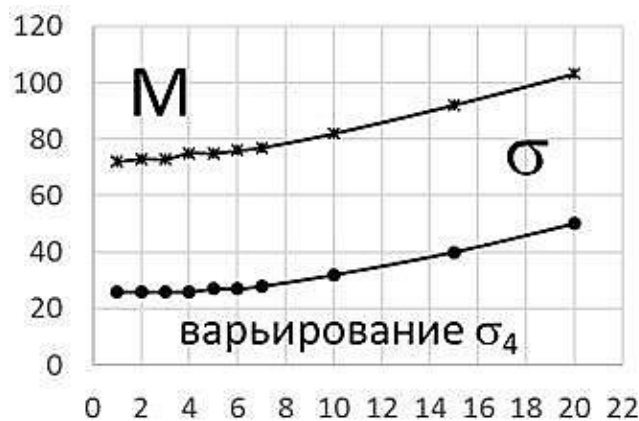


Рис. 2. Зависимость оценки математического ожидания M и стандартного отклонения увеличения продолжительности рабочего дня σ от разброса σ_1 значений времени прибытия АБС

На графике ниже представлена зависимость увеличения продолжительности рабочего дня от разброса σ_3 значений продолжительности промывки (слева) и разброса σ_4 значений продолжительности мойки (справа).



а



б

Рис. 3. Зависимость оценки математического ожидания M и стандартного отклонения увеличения продолжительности рабочего дня σ от разброса σ_3 значений продолжительности промывки (а) и разброса σ_4 значений продолжительности мойки (б)

На основании анализа вышеприведенных графиков можно сделать вывод о существенном влиянии дисперсии времени промывки и времени мойки на увеличение продолжительности рабочего дня (включая как его оценку математического ожидания, так и оценку дисперсии).

Построенная модель может быть применена для решения задач поиска рациональных значений производительности моечных комплексов с учетом принятого темпа работ, а также для формулирования требований к обеспечению бесперебойности поставок бетонной смеси.

Список литературы

1. СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции.
2. ГОСТ 7473-2010 Смеси бетонные. Технические условия.
3. СП 12-135-2003 Безопасность труда в строительстве. Отраслевые типовые инструкции по охране труда.
4. ГОСТ 27339-93 Автобетоносмесители. Общие технические условия.
5. СП 48.13330.2011 Организация строительства.
6. ТР 159-04 Рекомендации по устройству пунктов мойки (очистки) колес автотранспорта на строительной площадке.
7. Вагнер Г. Исследование операций. Т. 3. М. Мир, 1973. 501 с.

УДК 624.92.033.15

**РАСЧЕТ БОЛЬШЕПРОЛЕТНОГО БЫСТРОВЗВОДИМОГО
СООРУЖЕНИЯ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНЫХ ФАКТОРОВ**

**Амоян Миша Фрикович, Ким Алексей Юрьевич,
Хапилин Виктор Евгеньевич**

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., Россия*

e-mail: ezid-007@yandex.ru, sberbanksp@yandex.ru,
khapilin2010@yandex.ru

***Аннотация.** В статье описывается разработанное авторами статьи быстро-
возводимое большепролетное сооружение универсального назначения, которое может
быть как гаражом для хранения техники, так и спортивным центром. Главными
свойствами данного сооружения являются экономическая эффективность, быстрота
сборки, относительно невысокая стоимость эксплуатации.*

***Ключевые слова:** быстро возводимое большепролетное сооружение универсаль-
ного назначения, расчет сооружений с помощью итерационных методов с учетом не-
линейных факторов, шаговые методы расчета с применением численной процедуры
Эйлера – Коши*

**CALCULATION OF A LARGE-SPAN PRE-CONSTRUCTED
STRUCTURE TAKING INTO ACCOUNT NON-LINEAR FACTORS**

**Amoyan Misha Micovic, Kim Aleksey Yurievich,
Khapilin Victor Evgenievich**

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

e-mail: ezid-007@yandex.ru, sberbanksp@yandex.ru,
khapilin2010@yandex.ru

***Abstract.** The article describes a fast-built large-span structure of universal purpose
developed by the authors of the article, which can be both a garage for storing equipment and
a sports center. The main properties of this structure are economic efficiency, speed of As-
sembly, and relatively low cost of operation.*

***Keywords:** rapid construction of a large-span structure for universal use, calculation
of structures using iterative methods taking into account nonlinear factors, step-by-step cal-
culation methods using the Euler – Cauchy numerical procedure*

Работы, в которых исследуются быстро возводимые большепролет-
ные сооружения из металлических конструкций, являются в условиях ми-
рового экономического кризиса и пандемии очень актуальными. Если дру-

гие страны, например Китай, сумели в условиях пандемии за две-три недели построить на пустом месте современные лечебные сооружения, то в нашей стране на строительство подобных медицинских учреждений ушло от нескольких месяцев до года. Это показало системную неготовность отечественных проектировщиков, расчетчиков и строителей работать в современных очень тяжелых условиях (рис. 1).



Рис. 1. Инфекционная больница в Ухане (КНР)

Поэтому проведенные аспирантами кафедры «Теория сооружений и строительных конструкций» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. под руководством профессора Кима А.Ю. являются очень актуальными.

Целью проведенного исследования было разработать экономически эффективное быстровозводимое большепролетное сооружение из металлических конструкций универсального назначения. Основные задачи, которые ставились в исследовании: разработать программу для расчета сооружений такого вида итерационными методами, разработать и рассчитать такое сооружение на действие различных нагрузок, разработать оригинальное опорное устройство для данного сооружения, рассчитать технико-экономические показатели такого сооружения (рис. 2).

Объектом данного исследования являются линзообразные мембранно-пневматические системы покрытий сооружений больших пролетов. Существует много различных видов быстровозводимых сооружений, авторы данного исследования решили взять лучшие показатели из всех известных сооружений. Многие авторы как в нашей стране, так и за рубежом описывают различные виды быстровозводимых сооружений. [3-5].

История интенсивного развития быстровозводимых сооружений насчитывает уже несколько десятилетий. Мембранно-пневматические си-

стемы получили применение при строительстве облегченных покрытий сооружений больших пролетов (складских помещений, прозрачных перекрытий теплиц и оранжерей, крытых бассейнов, теннисных кортов, выставочных павильонов, крытых стоянок автотранспорта или летательных аппаратов, строительной, сельскохозяйственной и военной техники). Среди них линзообразные мембранно-пневматические системы являются новыми и недостаточно изученными еще. Современных методик достаточно точного расчета их проектировщики не имеют. Более половины пневматических сооружений до последнего времени разрушилось при ураганах, тайфунах, цунами и т. п. [1].

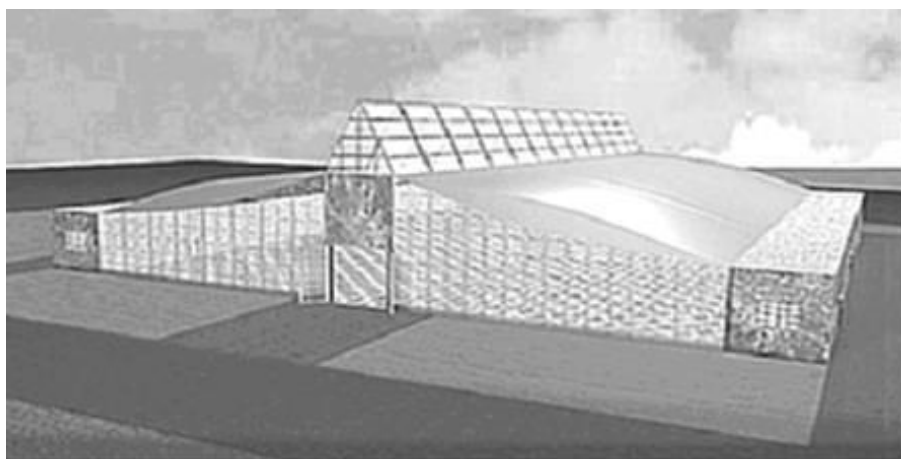


Рис. 2. Мембранно-пневматическое большепролетное сооружение

Развитие строительства с учетом современных достижений в области науки и техники требует повышения эффективности применяемых инженерами пневматических сооружений при экономии энергетических затрат за счет внедрения прогрессивных конструкций, снижения материалоемкости и улучшения эксплуатационных качеств сооружений [2].

Как показал опыт в области строительства, накопленный в течение нескольких десятилетий, применяемые в мире облегченные воздухоопорные и новые линзообразные мембранно-пневматические системы относятся к прогрессивным конструкциям. Это те эффективные системы, дальнейшее совершенствование которых открывает большие возможности в строительстве мобильных сооружений. В то же время необходимость совершенствования легких сооружений, требует развития методов расчета их и особенно таких систем, как линзообразные мембранно-пневматические системы покрытий сооружений больших пролетов, порядка 100 метров и более (рис. 3).

Авторы исследования поставили несколько целей для своего большепролетного быстровозводимого сооружения: сооружение должно быть универсального назначения, при небольших затратах можно менять область применения данного строения, от гаража и склада до спортивного

сооружения. Сооружение должно быть быстровозводимым за срок от нескольких дней до нескольких недель. Данное сооружение нужных размеров изготавливается на заводе, там собирается, потом демонтируется, упаковывается и ждет на складе отправку в нужное место.

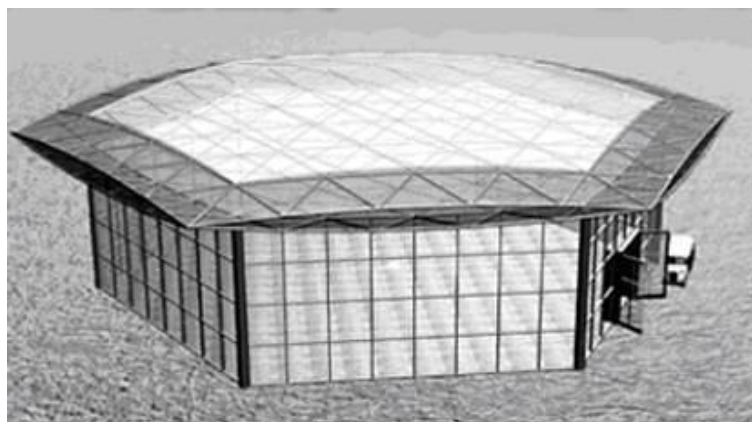


Рис. 3. Мембранно-пневматическое большепролетное сооружение

На строительной площадке нужно предварительно произвести несколько операций: сделать ровной площадку, подготовить нужный вид фундамента в зависимости от пролета и высоты здания, подвести воду, электроэнергию, смонтировать канализацию и другие инженерные системы.

По данным авторов, если требуется возвести спортивный комплекс размерами сто на сто метров на подготовленную заранее площадку, то без оснащения его оборудованием потребуется примерно три недели. Например, при строительстве бадминтонного центра в г. Саратове аналогичного размера и гораздо худшего по архитектуре потребовалось более полугода (рис. 4).



Рис. 4. Бадминтонный центр в г. Саратове на ул. Чернышевского

Причем по стоимости сооружение, разработанное авторами данной статьи, будет примерно на тридцать-сорок процентов дешевле, чем сооружение бадминтонного центра.

Для проектирования таких сооружений предварительно нужно сделать расчет с помощью или известных программных комплексов или с помощью программного комплекса, составленного самими авторами данного сооружения. Данный программный комплекс позволяет производить расчет таких быстровозводимых сооружений с учетом упругих свойств воздуха в замкнутых полостях данного сооружения и с учетом геометрической нелинейности.

При этом авторами данного исследования усовершенствована численная процедура Эйлера-Коши итерационного метода приращений параметров за счет увеличения числа корректируемых итераций на текущем шаге нагружения системы. Необходимое число итераций в расчете определяется автоматически. Последняя итерация та, на которой происходит совпадение вычисляемой величины избыточного давления воздуха в линзе с его значением на предыдущей итерации.

В разработанной методике статического расчета на ЭВМ нелинейных линзообразных мембранно-пневматических систем покрытий больших пролетов применен итерационный метод приращений параметров с поэтапным применением МКЭ, универсального уравнения газа и численной процедуры Эйлера-Коши третьего порядка точности, усовершенствованной авторами за счет увеличения числа корректируемых итераций.

Новизна разработанной методики расчета состоит в следующем:

1. Численная процедура известного итерационного метода приращений параметров осуществлялась на основе численной процедуры Эйлера-Коши третьего порядка точности по формуле:

1) Решение задачи в первом приближении, т. е. методом приращений первого порядка точности с применением формулы Эйлера:

$$\Delta Z_{nv}^{(1)} = \sum_{\mu=1}^{\mu=\mu} \Delta x_{n\mu} \cdot A'_{v\mu}(x_{n-1,\mu}, y_{n-1})$$

2) Решение задачи в с-том приближении по формуле:

$$\Delta Z_{nv}^{(C)} = \sum_{\mu=1}^{\mu=\mu} \Delta x_{n\mu} \cdot A'_{v\mu}\left(x_{n-1,\mu} + \frac{\Delta x_{n\mu}}{2}, y_{n-1} + \frac{\Delta y_n^{(c-1)}}{2}\right), \text{ где } 2 \leq C \leq 3.$$

По результатам проведенных авторами исследований можно сделать вывод, что данная методика расчета позволила повысить точность расчета нелинейных линзообразных пневматических систем и учесть в работе покрытия влияние последействия при действии, как традиционных силовых, температурных и кинематических нагрузок, так и специфичных пневматических нагрузок, связанных с накачкой воздуха в замкнутую полость линзы или с утечкой воздуха из полости. Новая методика расчета позволила

определить материалоемкость мембран и несущую способность линзообразных покрытий при пролетах 120 и 150 метров. При этом выявлено существенное значение повышенного избыточного давления воздуха в линзах, усиливающего покрытие и обеспечивающего устойчивость и несущую способность сооружения при больших пролетах и реальных нагрузках. Избыточное давление в системах больших пролетов является «повышенным» по сравнению с ранее применяемым «средним» избыточным давлением воздуха в системах средних пролетов. При «среднем» давлении большепролетные системы на действие нагрузок не работают. При недостаточном давлении мембранно-пневматические системы больших пролетов не работают, так как, будучи слишком гибкими, являются геометрически изменяемыми, а не мгновенно жесткими.

Авторы статьи надеются, что данная методика позволит создавать новые быстровозводимые сооружения для создания современной инфраструктуры Российской Федерации.

Список литературы

1. Ермолов В.В. Воздухоопорные сооружения / В.В. Ермолов. М. Стройиздат. 1980. – 320 с.
2. Ким А.Ю. Появление в СССР воздухоопорных сооружений спортивного назначения / А.Ю. Ким. МЦ Интернаука. № 7. С. 54-58.
3. Грек Ев. Пневматические конструкции и продуктивизм в архитектурном дизайне// vselim.com, 2014.
4. Jens G. Pohl. Multi-Story Air-Supported and Fluid-Inflated Building Structures – Revised Edition: Concept, Design Principles, and Prototypes. – California Polytechnic State University, San Luis Obispo, California, 2014. 406 p.
5. Кривошапко С.Н., Галишникова В.В. Архитектурно-строительные конструкции: учеб. М.: ЮРАЙТ, 2015. 476 с.

УДК 69.059.4

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОТ ОПРОКИДЫВАНИЯ ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ НА ОСНОВАНИИ С КАРСТОВЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Иноземцев Вячеслав Константинович, Муртазина Гульсем Расимовна
Саратовский технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия
e-mail: aditi2003@mail.ru, galamurta@mail.ru

Аннотация. В данной работе предложено актуальное направление проведения оценки надежности работы под воздействием горизонтальных нагрузок и устойчивости против опрокидывания высотных объектов расположенных на грунтовом основании с проявлением карстовых процессов.

Ключевые слова: высотный объект, ветровое воздействие, общая устойчивость, инженерно-геологические условия, карстовые процессы, крен высотного объекта, деформируемость грунтового основания, критический вес здания

ASSESSMENT OF TIPPING RESISTANCE OF A HIGH BUILDING ON THE BASIS WITH KARST PROCESSES

Inozemtsev Vyacheslav Konstantinovich, Murtazina Gulsem Rasimovna
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia
e-mail: aditi2003@mail.ru, galamurta@mail.ru

Abstract. *This paper proposes an actual direction for assessing the reliability of work under the influence of horizontal loads and resistance against overturning of high-rise objects located on a soil foundation with the manifestation of karst processes.*

Keywords: *high-rise object, wind impact, general stability, geotechnical conditions, karst processes, roll of a high-rise object, deformability of the soil base, critical weight of the building*

Немецкая консалтинговая компания Emporis, которая аккумулирует информацию в области архитектурного проектирования, строительства и недвижимости, составила рейтинг самых высоких построенных и строящихся небоскребов Европы. И Россия занимает в нем лидирующую позицию. Из 10 небоскребов списка 7 возводятся в РФ. Башни строят в обеих столицах. Одно здание в Петербурге и шесть в Москве.

Примером проявления карстовых процессов является территория Москвы. Согласно «Схематической карте инженерно-геологического районирования Москвы по степени опасности проявления карстово-суффозионных процессов», справочным данным, данным изысканий и в соответствии с «Инструкцией по проектированию зданий и сооружений в районах Москвы с проявлением карстово-суффозионных процессов», многие участки проектируемого строительства (рис. 1) оцениваются как потенциально-опасные в отношении проявления карстовых процессов.

Несущие конструкции высотных зданий могут располагаться на едином фундаменте, представляющем собой массивную монолитную железобетонную фундаментную плиту на свайном основании с различными параметрами конструктивных элементов, например:

- материал фундаментной плиты – бетон класса В45 W8 F100;
- толщина фундаментной плиты может изменяться от 2000 до 2500 мм;
- свайное основание представляет равномерное свайное поле из буронабивных свай-стоек Ø800 мм;
- материал свай – бетон В30 W6 F100;
- заложение свай глубокое с опорой и передачей нагрузок от здания на скальные породы.

Инженерно-геологический разрез представлен следующими ИГЭ:

ИГЭ 8 – Известняк желтовато-белый, средней прочности, скрытокристаллический массивный доломитистый;

ИГЭ 12 – Глина пестроцветная, тугопластичная, с прослоями глины мергелистой и суглинка твердого;

ИГЭ 13 – Глина коричневая, твердая, слоистая, с прослоями глины голубой мергелистой.

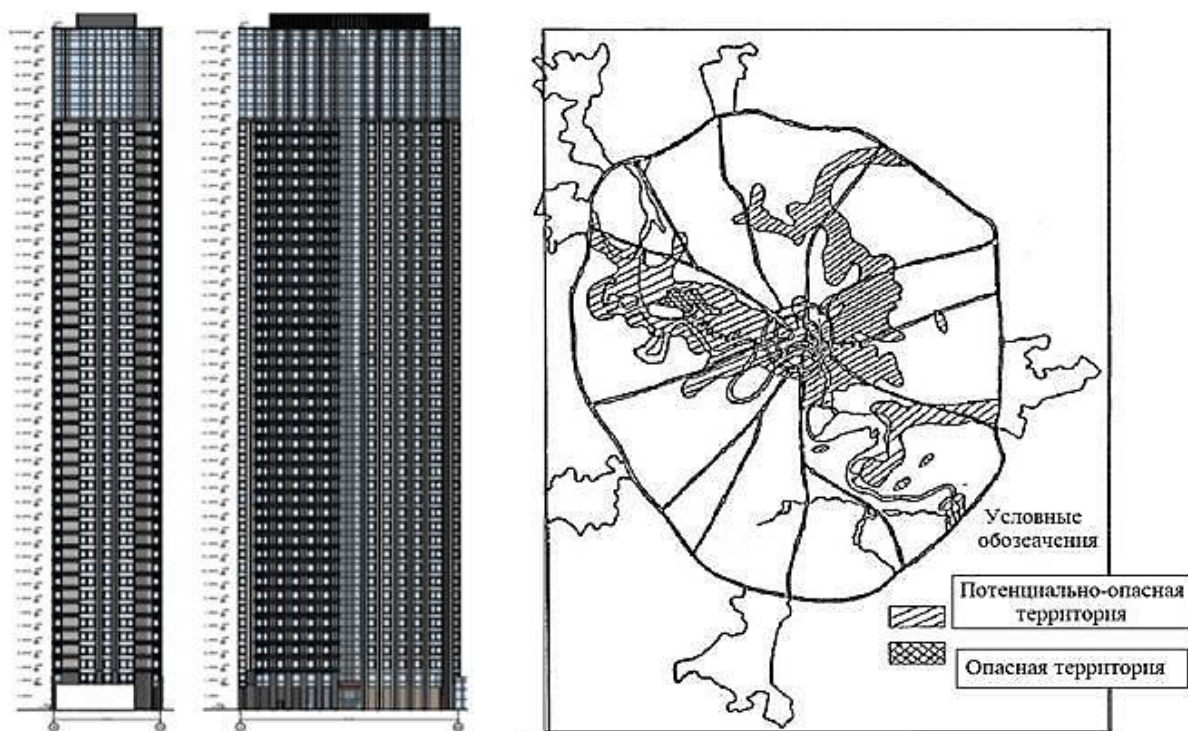


Рис. 1. Высотное здание и участки проектируемого строительства в г. Москве, оцениваемые как потенциально опасные в отношении проявления карстовых процессов

Для основания со слоями переменной мощности (рис. 2), в том числе слоем известняка, для плитно-свайного фундамента принимается следующее конструктивное решение:

- сваи не заходят в фундаментную плиту;
- головы свай объединяются бетонной подготовкой 160 мм;
- фундаментная плита – многослойное основание с послойно изменяющейся жесткостью.

Расчетная схема основания в этом случае должна учитывать наличие слоев, их жесткостные характеристики и граничные условия контакта.

Основной горизонтальной нагрузкой для высотного здания является ветровая нагрузка. Трудно представить, что высотное здание с развитыми размерами в плане может быть опрокинуто ветровым воздействием с отрывом подошвы фундамента от его основания. Очевидно, что в качестве примера можно рассмотреть высотное (52 этажа) здание башенного типа. Примем следующие геометрические размеры, встречающиеся в настоящее время при возведении высотных жилых зданий в Москве: высота 210 м, размеры в плане $b = 66$ м на $a = 28$ м. Конструктивно здание выполнено из монолитного железобетона. Общий вес такого здания можно принять $10,3 \times 10^5$ кН. При вычислении удерживающего момента «с целью уточне-

ния расчета в запас», в качестве удерживающей нагрузки принимают только вес несущего каркаса здания, который будет равен $P = 7,2 \times 10^5$ кН. Центр сил тяжести каркаса здания расположен на высоте 58 м. Плечо удерживающей равнодействующей сил веса будет равно в данном случае $a/2 = 14$ м. Тогда удерживающий момент будет $M_{уд} = 10,1 \times 10^6$ кНм. Вычисление опрокидывающего момента, порождаемого равнодействующей силой ветровых нагрузок, может определяться с использованием результатов испытаний макета здания в аэродинамической трубе. Плечо равнодействующей ветровых нагрузок примем $h = 140$ м, а величину равнодействующей силы $Q = 2 \times 10^4$ кН, тогда $M_{опр} = 2,8 \times 10^6$ кНм.

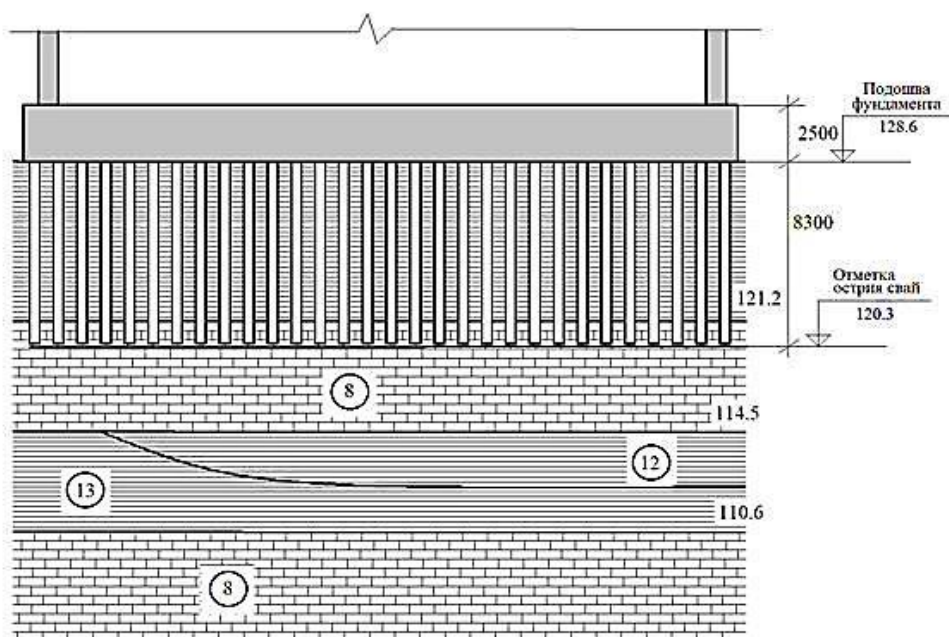


Рис. 2. Характерный инженерно-геологический разрез по основанию с двумя слоями известняка и несущим верхним слоем известняка

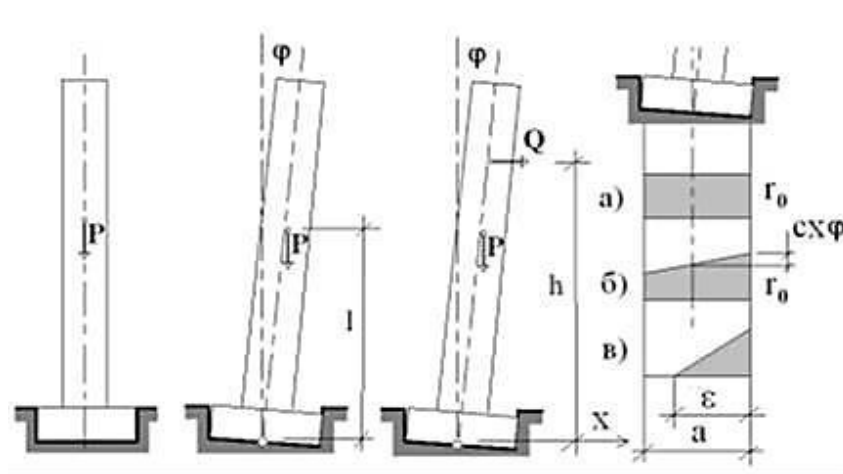
Тогда коэффициент устойчивости против опрокидывания для недеформируемого основания k определится как

$$k = \frac{M_{уд}}{M_{опр}} = 3.6. \quad (1)$$

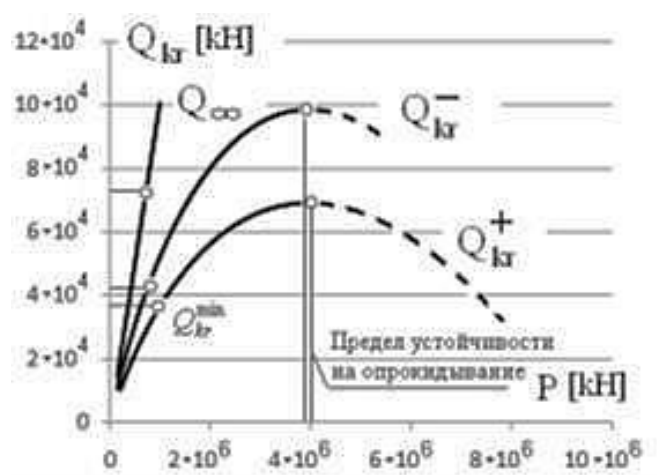
В настоящее время в среде проектировщиков высотных зданий распространено обозначение таких задач как «расчет на устойчивость положения». Понятие «устойчивости положения» включает задачи на расчет устойчивости положения по опрокидыванию и расчет устойчивости по сдвигу.

Очевидно, что для высотных зданий развитие отклонений до предельного значения угла поворота вертикальной оси здания $\varphi_{кр}$, предшествующего потере состояния равновесия, недопустимо. Недопустимо также ориентироваться только на оценку устойчивости высотного здания про-

тив опрокидывания на основе гипотезы о не деформируемом грунтовом основании. Эту оценку можно рассматривать как предварительную, завышенную примерно в два раза [1, 2].



а)



б)

Рис. 3. а – расчетная схема при учете деформируемости грунтового основания;
б – диаграммы ветровой критической нагрузки

Получаемый при учете деформируемости грунтового основания критический вес высотного здания, определяет потерю устойчивости здания при исчезновении равновесных форм под действием горизонтальных нагрузок – критической горизонтальной нагрузки $Q_{кр}$:

$$Q_{кр} = Q_{\infty} \left(1 - \sqrt[3]{\frac{P}{P_{кр}}} \right); \quad Q_{\infty} = \frac{Pa}{2h}; \quad P_{кр} = \frac{cJ}{l}; \quad \frac{P}{P_{кр}} \rightarrow 1; \quad Q_{кр} \rightarrow 0. \quad (2)$$

Очевидно, что критическая ветровая нагрузка устойчивости высотного здания при исчезновении равновесных форм определяется весом высотного объекта и значением критической нагрузки бифуркационной устойчивости $P_{кр}$. Здесь можно отметить, что выражение для критической горизон-

тальной нагрузки содержит логическое противоречие. Критическая ветровая нагрузка $Q_{кр}$, определяемая из условия равенства удерживающего и опрокидывающего моментов и предположения об абсолютной жесткости основания, возрастает при увеличении веса сооружения. Критическая ветровая нагрузка $Q_{кр}$, определяемая с учетом конструктивной нелинейности взаимодействия фундаментной плиты с основанием и с учетом деформации основания, с некоторой величины веса сооружения убывает при его увеличении.

Отмеченное противоречие должно отразиться на виде выражения для критической горизонтальной нагрузки $Q_{кр}$. При определении Q_{∞} в практике проектировщиков принято: «с целью уточнения расчета в запас». При определении удерживающей нагрузки принимают только вес несущего каркаса здания, который будет равен: $P^- = 7,2 \times 10^5$ кН. При определении отношения $P/P_{кр}$, «с целью уточнения расчета в запас», следует принять полный вес высотного здания $P^+ = 10,3 \times 10^5$ кН.

$$Q_{кр} = Q_{\infty} \left(1 - \sqrt[3]{\frac{P^+}{P_{кр}}} \right); \quad Q_{\infty} = \frac{P^- a}{2h}; \quad P_{кр} = \frac{cJ}{l}; \quad \frac{P^+}{P_{кр}} \rightarrow 1; \quad Q_{кр} \rightarrow 0. \quad (3)$$

Для принятых параметрах высотного здания получаем три значения ветровой критической нагрузки, минимальная из которых $Q_{кр}^{min} = 37534$ кН определяется отношением $P^+/P_{кр} = 0,109$ (рис. 3, б).

Критическая нагрузка $P_{кр}$, получаемая на основе расчетной схемы, предложенной в 1934-36 гг. Г. Крамером и Н.П. Павлюком [1, 2] иногда называется эйлеровой для расчетной схемы колонны, свободно стоящей на упругом деформируемом основании. В основе такого подхода к решению задач устойчивости лежит теория бифуркаций, представленная классическим решением Эйлера задачи устойчивости гибкой стойки. Особенность такого решения задачи об общей устойчивости сооружений, подвергающихся опасности опрокинуться, состоит в том, что оно находится в тесной связи с другими задачами устойчивости сооружений, а сама теория бифуркаций и устойчивости форм равновесия деформируемых систем имеет фундаментальное значение [3, 4].

Список литературы

1. Павлюк Н.П. К вопросу о проверке устойчивости стенки на опрокидывание // Проект и стандарт. 1934. № 8.
2. Павлюк Н.П. Устойчивость жестких стен и колонн // Труды Ленинградского института инженеров коммунального строительства. Л., 1935. Вып. II.
3. Пановко Я.Г. Устойчивость и колебания упругих систем: Современные концепции, ошибки и парадоксы / Я.Г. Пановко, И.И. Губанова. 3-е изд., перераб. М.: Наука, 1979. 384 с.
4. Перельмутер А.В. Устойчивость равновесия конструкций и родственные проблемы / А.В. Перельмутер, В.И. Сливкер. Т. III. – М.: СКАД СОФТ, 2011. 400 с.

ЗАДАЧА ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ СЕРНОГО УПРОЧНЕНИЯ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ БЕТОННОЙ ТРУБЫ ПОД ТЕПЛОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

Кривулина Эльвира Федоровна, Шляхов Станислав Михайлович
*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю. А., Россия*
e-mail: orifelwi@mail.ru

***Аннотация.** Представлена постановка задачи об оценке влияния диффузионного заполнения серой пор бетонной трубы на ее несущую способность при тепловом воздействии на ее внутреннюю поверхность. Решение задачи ведется на основе механики сплошных неоднородных тел. Учет пористости представляется корректировкой механических свойств материала с использованием теории смесей.*

***Ключевые слова:** бетон, пористость, сера, диффузия*

THE PROBLEM OF INFLUENCE SULFUR HARDENING ON THE LOADING CAPACITY OF A CONCRETE PIPE UNDER THERMAL EXPOSURE

Krivulina Elvira Fedofovna, Shlyakhov Stanislav Mihailovich
Yuri Gagarin Saratov State Technical University, Russia
e-mail: orifelwi@mail.ru

***Abstract.** The article presents the formulation of the problem of assessing the effect of diffusion filling of the pores of a concrete pipe with sulfur on its bearing capacity at heat on its inner surface. The solution to the problem is based on the mechanics of solid inhomogeneous bodies. The calculation of porosity is presented to correct the mechanical properties of a material using the theory of mixtures.*

***Keywords:** concrete, porosity, sulfur, diffusion*

Известно, что бетон является пористым материалам. Наличие дефектов в бетоне в виде пор или пустот отрицательно сказывается на прочностных характеристиках материала и как следствие снижает несущую способность конструкции. Повысить несущую способность изделия можно, заполнив поры упрочняющим материалом. Одним из таких заполнителей пор является сера.

Упрочнению чаще подвергается внутренняя полость трубы. Заполнение пор серой осуществляется путем диффузии расплава серы в тело при ее заливке во внутреннюю полость с последующей кристаллизацией. Свободная сера является анизотропным кристаллом, но после затвердевания в порах приобретает свойства практически изотропного материала со средними характеристиками [1].

Модуль Юнга $E_c = 19,394 \cdot 10^3$ МПа,
коэффициент Пуассона $\nu_c = 0,343$.

Для определения объемных долей серы и бетона в слое насыщения, необходимо предварительно решить задачу диффузии.

Объемное содержание серы u определяется решением следующего дифференциального уравнения

$$D \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial u}{\partial r} \right) = p \frac{\partial u}{\partial t}, \quad (1)$$

Здесь p – пористость, D – условный коэффициент диффузии непористого тела.

Обозначим $\kappa = \frac{D}{p}$, получим

$$\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial u}{\partial r} = \frac{1}{\kappa} \frac{\partial u}{\partial t}. \quad (2)$$

Начальная концентрация серы в теле трубы равна нулю. Поверхность $r = a$ (внутренняя поверхность трубы) содержит концентрацию $u|_{r=a} = p$, то есть равна пористости. На второй границе $r = b$ при $t = 0$ имеем $u|_{r=b} = 0$.

Рассматривается случай равномерного распределения пористости по объему тела. Процесс насыщения пор серой происходит в изотермическом режиме. Решение уравнения (2) известно, аналогично решению задачи теплопроводности и приведено в [2].

Соответственно этому решению можно предложить удобную для инженерного использования расчетную формулу

$$u = p \left(1 - K \lg \frac{r}{a} \right). \quad (3)$$

Коэффициент K определится по заданной глубине проникновения серы в тело трубы.

Проникновение серы в поры бетона приводит к неоднородности свойств серобетона по толщине стенки трубы. Материал трубы представляет собой двухкомпонентный композит. Для определения механических характеристик (модель Юнга и коэффициент Пуассона) на диффундируемом участке используем теорию смесей

$$\begin{aligned} E &= E_b \cdot \eta_b + E_c \cdot \eta_c, \\ \nu &= \nu_b \cdot \eta_b + \nu_c \cdot \eta_c, \end{aligned} \quad (4)$$

где η_b, η_c – относительное содержание бетона и серы так, что

$$\eta_b + \eta_c = 1. \quad (5)$$

За исходные данные примем

$$E_b = 20 \cdot 10^3 \text{ МПа}, \nu_b = 0,1.$$

Теплофизические характеристики определяются по следующим расчетным зависимостям [3, 4]:

- 1) коэффициент линейного расширения серы равен $\alpha_c = 74 \cdot 10^{-6} \frac{1}{K}$
- 2) коэффициент теплопроводности серы $\lambda_c = 0,25 \frac{Вт}{м \cdot K}$
- 3) коэффициент линейного расширения бетона равен $\alpha_b = 12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{K}$
- 4) коэффициент теплопроводности бетона $\lambda_b = 1,2 \frac{Вт}{м \cdot K}$
- 5) коэффициент линейного расширения стали (арматуры) $\alpha_{ст} = \alpha_b = 12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{K}$
- 6) коэффициент теплопроводности стали $\lambda_{ст} = 47 \frac{Вт}{м \cdot K}$
- 7) коэффициент теплопроводности серобетонной смеси зависит от геометрии включений в матрицу основного материала.

Примем модель сферической формы включения (серы). Определим коэффициент теплопроводности смеси по формуле [5]

$$\lambda_{см} = \lambda_b \left(1 + \frac{\eta_c}{\frac{1-\eta_c}{3} + \frac{\lambda_b}{\lambda_c - \lambda_b}} \right), \quad (7)$$

- 8) коэффициент линейного расширения серобетонной смеси определим по формуле [5]

$$\alpha = \tilde{\alpha} + \frac{\alpha_b - \alpha_c}{\frac{1}{K_b} - \frac{1}{K_c}} \left(\frac{1}{K} - \overline{\left[\frac{1}{K} \right]} \right). \quad (8)$$

Здесь

$$\begin{aligned} \tilde{\alpha} &= \alpha_b \cdot \eta_b + \alpha_c \cdot \eta_c, \\ K_b &= \frac{E_b}{3(1-2\nu_b)}, \\ K_c &= \frac{E_c}{3(1-2\nu_c)}, \\ \overline{\left[\frac{1}{K} \right]} &= \frac{\eta_b}{K_b} + \frac{\eta_c}{K_c}, \end{aligned} \quad (9)$$

η_b, η_c – объемные доли бетона и серы соответственно,

$$\begin{aligned} K &= K_b + \frac{(K_c - K_b)\eta_c}{1 + \left(\frac{K_c - K_b}{K_b + \frac{4}{3}\mu_b} \right)}, \\ \mu_b &= \frac{E_b}{2(1+\nu_b)}. \end{aligned} \quad (9)$$

Рассмотрим случай внутреннего теплового воздействия на трубу при полярно-симметричном нагреве.

Для определения поля температур в трубе необходимо решить задачу теплопроводности, т. е. найти решение дифференциального уравнения с переменными коэффициентами следующего вида

$$\frac{d}{dx} \left[\lambda(r) \frac{dT}{dr} \right] + \frac{\lambda(r)}{r} \cdot \frac{dT}{dr} = 0. \quad (10)$$

Здесь $\lambda(r)$ – коэффициент теплопроводности материала как функция радиуса.

Граничные условия задачи теплопроводности следующие (рис. 1):

$$T_1 = T_B \text{ при } r = R_1, T_2 = T_H \text{ при } r = R_2. \quad (11)$$

Решение краевой задачи (10), (11) заменим эквивалентной ей вариационной в поиском минимума следующего функционала

$$I = 2\pi l \int_{R_1}^{R_2} \left[\frac{\lambda(r)}{2} \left(\frac{dT}{dr} \right)^2 \right] r dr \quad (12)$$

Для реализации минимума функционала (12) воспользуемся методом конечных элементов (МКЭ). Разобьем цилиндр по радиусу на n кольцевых элементов и пронумеруем их границы $i = 1, 2, \dots, n + 1$ (рис. 1). Представим функцию температур на каждом элементе линейным сплайном

$$\begin{aligned} T_{(i,i+1)} &= \alpha_{11} + \alpha_{12}r, \\ T_{(i-1,i)} &= \alpha_{21} + \alpha_{22}r \end{aligned} \quad (13)$$

Входящие в (13) коэффициенты выражаются через узловые температуры в виде

$$\begin{aligned} \alpha_{11} &= T_i - \frac{r_i}{r_{i+1}-r_i} (T_{i+1} - T_i), \\ \alpha_{12} &= \frac{1}{r_{i+1}-r_i} (T_{i+1} - T_i). \end{aligned} \quad (14)$$

Заменив в (14) индекс i на $i-1$, получим α_{12}, α_{22} .

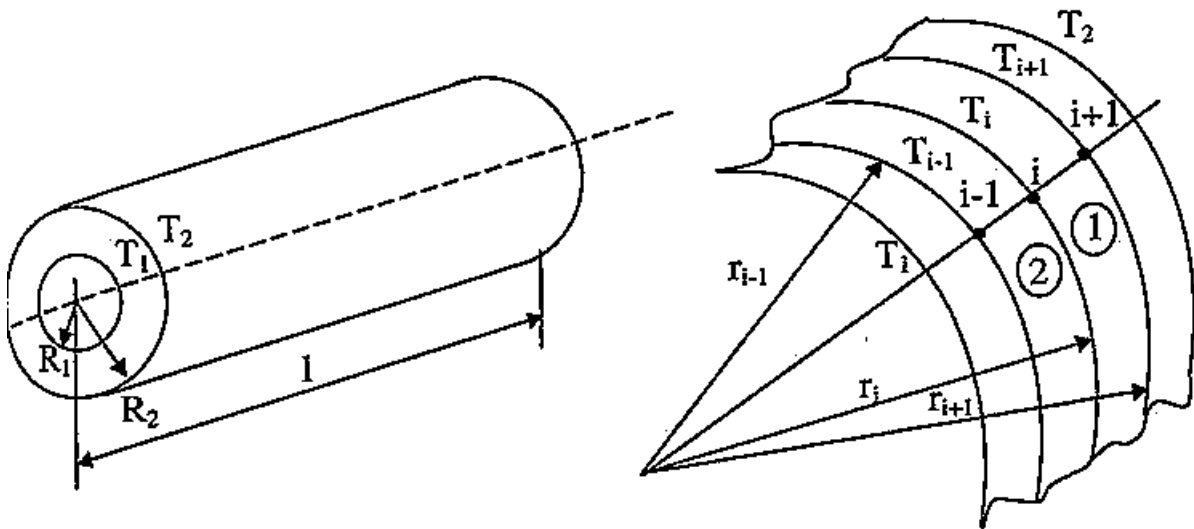


Рис. 1

Представим функционал (12) в виде суммы двух слагаемых для элементов, примыкающих к узлу i :

$$I = I_1 + I_2,$$

где на основании (13), (14) получим

$$I_1 = \int_{r_i}^{r_{i+1}} \left[\frac{\lambda_1}{2} \left(\frac{dT}{dr} \right)^2 \right] r dr,$$

$$I_2 = \int_{r_{i-1}}^{r_i} \left[\frac{\lambda_2}{2} \left(\frac{dT}{dr} \right)^2 \right] r dr,$$

где

$$\lambda_1 = \frac{\lambda_i + \lambda_{i+1}}{2}, \lambda_2 = \frac{\lambda_{i-1} + \lambda_i}{2} \quad (15)$$

Условием экстремума функционала I будет

$$\frac{\partial I}{\partial T_i} = \frac{\partial I_1}{\partial T_i} + \frac{\partial I_2}{\partial T_i} = 0 \quad i = 2, 3, \dots, n. \quad (16)$$

Здесь n – количество кольцевых элементов, T_i – температура в i -м узле. Соответственно $T = T_B$ при $i = 1$, $T = T_H$ при $i = n + 1$.

Выполнив процедуру дифференцирования и подставляя производные в (16), получим алгебраическую систему уравнений относительно узловых температур. Решение полученной системы целесообразно искать итерационным методом Гаусса-Зейделя по схеме

$$T_i^{(m+1)} = \frac{1}{A_i} \left[B_i T_{i+1}^{(m-1)} + C_i T_{i-1}^{(m)} \right], \quad m = 1, 2, \dots, N, \quad (17)$$

где обозначено

$$A_i = B_i + C_i,$$

$$B_i = \frac{\lambda_1}{2} \left[\frac{r_i + r_{i+1}}{r_{i+1} - r_i} \right], \quad C_i = \frac{\lambda_2}{2} \left[\frac{r_{i-1} + r_i}{r_i - r_{i-1}} \right]. \quad (18)$$

Итерации выполняются до достижения заданной точности решения

$$\varepsilon = \left| \frac{T_i^{(m+1)} - T_i^{(m)}}{T_i^{(m)}} \right|_{\max} \leq [\varepsilon], \quad (19)$$

где $[\varepsilon]$ – допустимая относительная погрешность.

Изложим теперь решение задачи термоупругости цилиндрической трубы при полярно-симметричном нагреве.

Рассмотрим полый цилиндр (трубу) радиусов R_1 и R_2 в стационарном поле температур (17). Материал цилиндра линейно упругий. Полагаем, что свойства материала от температуры не зависят. Принимаем, что цилиндр свободен от закреплений.

Для анализа напряженного состояния цилиндра исходим из условия плоского деформированного состояния $\varepsilon_z = const$. Используем метод конечных элементов. Разбиение на элементы сохраним таким же, как и при решении задачи теплопроводности.

Выделим из цилиндра кольцевой элемент между двумя радиусами с шагом h_r (рис. 2).

Напряженное состояние в цилиндра является трехосным. Согласно закону Гука имеем

$$\sigma_r = D_{11} \varepsilon_r + D_{12} (\varepsilon_\theta + \varepsilon_z) + D_{13} \Phi,$$

$$\sigma_\theta = D_{11} \varepsilon_\theta + D_{12} (\varepsilon_r + \varepsilon_z) + D_{13} \Phi, \quad (20)$$

$$\sigma_z = D_{11}\varepsilon_z + D_{12}(\varepsilon_r + \varepsilon_\theta) + D_{13}\Phi,$$

где обозначено

$$\begin{aligned} D_{11} &= \frac{E(r)(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}, \\ D_{12} &= \frac{\nu E(r)}{(1+\nu)(1-2\nu)}, \\ D_{13} &= -\frac{E(r)}{1-2\nu}, \\ \Phi &= \alpha_{cp}(T-T_0), \\ \alpha_{cp} &= \frac{\alpha_i + \alpha_{i+1}}{2}. \end{aligned} \quad (21)$$

Здесь T_0 – температура естественного (ненапряженного) состояния, T – рабочая температура (средняя по элементу). Все физико-механические характеристики в элементах принимаются средними по элементу.

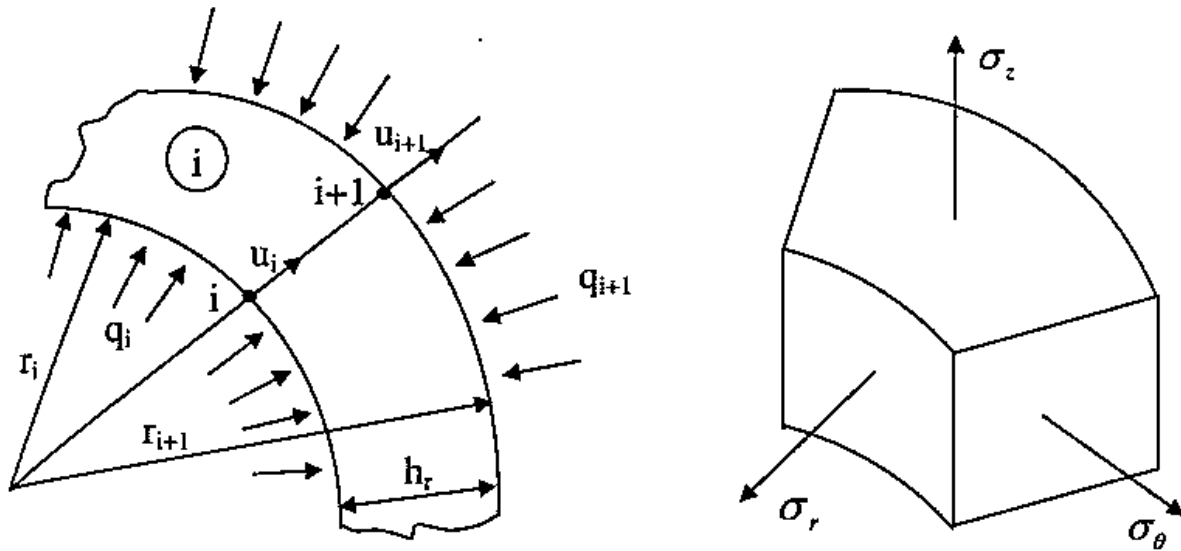


Рис. 2

Обозначим перемещения узловых точек элемента как u_i, u_{i+1} .

Полагая трубу армированной по внешнему контуру стальной арматурой, в последнем элементе примем $E(r) = E_{ст}$ – модуль упругости стали.

Перемещения и деформации в элементе связаны соотношениями:

$$\varepsilon_r = \frac{u_{i+1} - u_i}{h_r}, \quad \varepsilon_\theta = \varepsilon_r + \frac{1}{r} \left[u_i - \frac{r_i}{h_r} (u_{i+1} - u_i) \right]. \quad (22)$$

Согласно методу конечных элементов перемещения узлов u_i должны удовлетворять условию экстремума функционала

$$\begin{aligned} U_i &= \int_{r_i}^{r_{i+1}} (D_{11}(\varepsilon_r^2 + \varepsilon_\theta^2) + 2D_{12}\varepsilon_r\varepsilon_\theta + 2(\varepsilon_r + \varepsilon_\theta)(D_{13}\Phi + \\ &D_{12}\varepsilon_z)) r dr - 2r_i q_i u_i + 2r_{i+1} q_{i+1} u_{i+1}. \end{aligned} \quad (23)$$

Условием стационарности функционала (23) будет

$$\frac{\partial U_i}{\partial u_i} = 0, \frac{\partial U_i}{\partial u_{i+1}} = 0. \quad (24)$$

На основании (22)-(24) получим систему уравнений относительно узловых перемещений u_i вида

$$\{K\}\{U\} = \{R\}, \quad (25)$$

где $\{K\}$ – глобальная матрица жесткости,
 $\{U\}$ – матрица искомым узловых перемещений,
 $\{R\}$ – матрица правых частей уравнений.

$$\{K\} = \left\{ \begin{array}{ccccc} K_{11}^{(1)} & K_{12}^{(1)} & 0 & 0 & 0 \\ K_{21}^{(1)} & K_{22}^{(1)} + K_{11}^{(2)} & K_{12}^{(2)} & 0 & 0 \\ 0 & K_{21}^{(2)} & K_{22}^{(2)} + K_{11}^{(3)} & 0 & 0 \\ 0 & \dots \dots \dots & \dots \dots \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K_{22}^{(n-1)} + K_{11}^{(n)} & K_{12}^{(n)} \\ 0 & 0 & 0 & K_{21}^{(n)} & K_{22}^{(n)} \end{array} \right\}, \quad (26)$$

$$\{u\}^T = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_{n+1}\}$$

$$\{R\}^T = \{K_1^{(1)}, \dots, K_2^{(i)} + K_1^{(i+1)}, \dots, K_2^{(n)}\},$$

где обозначено

$$\begin{aligned} K_{11}^{(i)} &= D_{11} \frac{r_{i+1}^2}{h_r^2} \ln \left[1 + \frac{h_r}{r_i} \right] - D_{11} - D_{12}, \\ K_{12}^{(i)} &= K_{21}^{(i)} = D_{11} \frac{r_i r_{i+1}}{h_r^2} \ln \left[1 + \frac{h_r}{r_i} \right], \\ K_{22}^{(i)} &= D_{11} \frac{r_i^2}{h_r^2} \ln \left[1 + \frac{h_r}{r_i} \right] + D_{11} + D_{12}, \\ K_1^{(i)} &= \Phi D_{13} r_i + D_{12} \varepsilon_z r_i + q_i r_i, \\ K_2^{(i)} &= -\Phi D_{13} r_{i+1} - D_{12} \varepsilon_z r_{i+1} - q_{i+1} r_{i+1}, \\ \Phi &= \alpha_{cpi} \frac{T_i + T_{i+1}}{2}. \end{aligned} \quad (27)$$

Если цилиндр свободен от внутреннего и внешнего давлений, следует принять $q_1 = q_{n+1} = 0$.

Имеем также $q_i = 0$ ($i = 2, 3, \dots, n$).

Для случая длинной трубы можно принять $\varepsilon_z = 0$. Для труб средней длины или имеющих днища, следует предварительно найти $\varepsilon_z \neq 0$, из условия

$$N_0 = \pi \sum_{i=1}^n \sigma_{z_i} (r_{i+1}^2 + r_i^2), \quad (28)$$

где N_0 – известное осевое усилие на торцах трубы.

В случае свободной трубы $N = 0$.

На основании (23) по формулам (20) определяются напряжения в середине элемента разбиения. Для оценки прочности трубы необходимо в первую очередь определиться с выбором теории прочности.

Бетон является хрупким материалом. Разрушение хрупких материалов происходит без значительных следов пластических деформаций. Наиболее опасными точками в трубе будут внутренние точки, испытывающие двухосное напряженное состояние. Главные напряжения σ_2 и σ_3 будут сжимающими, $\sigma_1 = 0$. Опыты с хрупкими материалами показывают, что разрушение происходит по площадкам с максимальными касательными напряжениями.

Условием прочности будет $\tau_{max} < \frac{\sigma_{всж}}{2}$ или иначе [6, 7] $\sigma_1 - \sigma_3 = [\sigma]$ где $[\sigma]$ – допускаемое напряжение серобетона на сжатие, $[\sigma] = \frac{\sigma_{всж}}{n}$, $n > 1$ – коэффициент запаса, $\sigma_{всж} = R$ – предел прочности серобетона на сжатие.

Поскольку прочность серобетона существенно выше обычного бетона, естественно ожидать, что насыщение пор серой приведет к повышению несущей способности конструкции (трубы) в целом.

Список литературы

1. Шермергор Т.Д. Теория упругости микронеоднородных сред. М.: Наука, 1977. 400 с.
2. Паркус Г. Неустановившиеся температурные напряжения. М.: Физматлит, 1963. 252 с.
3. Литовский Е.Я., Пучкелевич Н.А. Теплофизические свойства огнеупоров. М.: Металлургия, 1982. 152 с.
4. www.stfa.ru/poristost-betona/1 Строительство, смешанные цементы.
5. Кристенсен Р. Введение в механику композитов. М.: Мир, 1982. 334 с.
6. Биргер И.А., Мавлютов Р.Р. Сопrotивление материалов. М.: Наука, 1986. 560 с.
7. Тимошенко С.П. Прочность и колебания элементов конструкций. М.: Наука, 1975. 704 с.

УДК 624.04:624.954

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА ДЕЙСТВИЯ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ НА СТЕНКИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО СИЛОСА

Кузнецов Игорь Михайлович

Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А., Россия

e-mail: kuznecov73@inbox.ru

Аннотация. Получены разрешающие уравнения для гибкой цилиндрической оболочки металлического силоса. Неизвестными являются функция напряжений и радиальные перемещения. В качестве основного нагружения рассматривается воздействие ветровой нагрузки, которая по высоте оболочки принята равномерно распределенной, а в поперечном направлении изменяется по закону $\cos n\beta$. При этом учитывается изменение кривизны оболочки в виду ее гибкости и больших прогибов в радиальном направлении. Закрепление оболочки по ее торцам принято жестким вверху и шарнирным внизу.

Ключевые слова: цилиндрическая оболочка, гибкая оболочка, круглый силос, ветровая нагрузка

SOME FEATURES OF ACCOUNTING FOR THE EFFECT OF WIND LOAD ON THE WALLS OF A METAL SILO

Kuznetsov Igor Mikhailovich

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

e-mail: kuznecov73@inbox.ru

Abstract. *In this paper, we obtain the resolving equations for a flexible cylindrical shell of a metal silo. The unknown ones are the stress function and radial displacements. The main loading is considered to be the effect of wind load, which is assumed to be uniformly distributed along the height of the shell, and in the transverse direction changes according to the law $\cos n\beta$. This takes into account the change in the curvature of the shell due to its flexibility and large deflections in the radial direction. Fixing the shell at its ends is made rigid at the top and hinged at the bottom.*

Keywords: *cylindrical shell, flexible shell, round silo, wind load*

Для гибкой цилиндрической оболочки силоса в случае отсутствия в ней зерна наиболее опасной является ветровая нагрузка. В качестве расчетной схемы примем цилиндрическую оболочку, закрепленную сверху жестко, а внизу опирающуюся на жесткую в своей плоскости и гибкую из плоскости диафрагму, роль которой выполняют подсилосные конструкции.

Согласно опытным данным, ветровую нагрузку в пределах высоты силоса, равной 10 метрам, можно принять равномерно распределенной. Расчетная схема показана на рис. 1. В кольцевом направлении ветровую нагрузку принимаем в соответствии с рекомендациями [1] по закону

$$P_3 = \sum_{n=0}^{n=3} P_n \cdot \cos n \cdot \beta,$$

где P_3 – горизонтальная составляющая ветровой нагрузки;

P_n – принимается в соответствии с требованием СП «Нагрузки и воздействия»;

β – угловая координата цилиндрической системы координат.

Так как оболочка силоса является гибкой, необходимо наряду с изгибающими учесть действие мембранных усилий.

Для цилиндрической оболочки примем α и β безразмерные координаты:

$$\alpha = \frac{X}{R}; \beta = \frac{S}{R}.$$

Уравнения равновесия, как известно из [2], имеют вид

$$\begin{aligned}
\frac{\partial N_1}{\partial \alpha} + \frac{\partial S_2}{\partial \beta} &= 0, \\
\frac{\partial S_1}{\partial \alpha} + \frac{\partial N_2}{\partial \beta} + Q &= 0, \\
\frac{\partial Q_1}{\partial \alpha} + \frac{\partial Q_2}{\partial \beta} - N_2 + R \cdot P_3 &= 0, \\
\frac{\partial H_1}{\partial \alpha} + \frac{\partial M_2}{\partial \beta} - Q_2 \cdot R &= 0, \\
\frac{\partial M_1}{\partial \alpha} + \frac{\partial H_2}{\partial \beta} - Q_1 \cdot R &= 0, \\
S_1 - S_2 - \frac{H_2}{R} &= 0.
\end{aligned} \tag{1}$$

Вторую группу уравнений примем в виде соотношений, учитывающих геометрически нелинейные деформации, при этом учитываем лишь нелинейные слагаемые относительно перемещений w и их производных по α и β :

$$\begin{aligned}
\varepsilon_1 &= \frac{\partial u}{R \cdot \partial \alpha} + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{R} \cdot \frac{\partial w}{\partial \alpha} \right)^2, \\
\varepsilon_2 &= \frac{1}{R} \cdot \frac{\partial v}{\partial \beta} + \frac{w}{R} + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\partial w}{R \cdot \partial \beta} \right)^2, \\
\gamma_{xy} &= \frac{\partial u}{R \cdot \partial \beta} + \frac{\partial v}{R \cdot \partial \alpha} + \left(\frac{\partial w}{R \cdot \partial \alpha} \cdot \frac{\partial w}{\partial \beta} \right).
\end{aligned} \tag{2}$$

Формулы для определения кривизны в случае больших прогибов, когда составляющая вектора перемещений w больше толщины оболочки, приходится учитывать влияние прогиба на изменение кривизны, в этом случае будем иметь

$$\begin{aligned}
\chi_1 &= -\frac{1}{R^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \alpha^2}, \\
\chi_2 &= -\frac{1}{R^2} \cdot \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \beta^2} - \frac{\partial v}{\partial \beta} + w \right), \\
X &= -\frac{1}{R^2} \cdot \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \alpha \cdot \partial \beta} - \frac{\partial v}{\partial \alpha} \right),
\end{aligned}$$

$$\Psi = \frac{1}{R} \cdot \left(v - \frac{\partial w}{\partial \beta} \right).$$

Физические уравнения, позволяющие определить внутренние усилия через деформации, примем в виде

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{E \cdot h}{1 - \nu^2} \cdot (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 \cdot \nu), \\ N_2 &= \frac{E \cdot h}{1 - \nu^2} \cdot (\varepsilon_2 + \nu \cdot \varepsilon_1), \\ M_1 &= \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot (\chi_1 + \nu \cdot \chi_2), \\ M_2 &= \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot (\chi_2 + \nu \cdot \chi_1), \\ S &= \frac{E \cdot h}{2 \cdot (1 + \nu)} \cdot \gamma, \quad H_1 = H_2 = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 + \nu)} \cdot X. \end{aligned} \quad (3)$$

Рассматривая систему уравнений равновесия (1) видим, что шестое уравнение удовлетворяется тождественно:

$$S_1 = S_2 = S.$$

В дальнейшем это уравнение исключается из рассмотрения.

Используя статико-геометрическую аналогию, как это принято в [2] можно предположить, что существуют зависимости аналогичные уравнениям (2), в которых вместо $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \gamma, \chi_1, \chi_2$, и X имеют место усилия и моменты: $-M_1, -M_2, H, N_1, N_2, -S$, а вместо функций u, v, w – три независимые функции напряжений. При условии:

$$P_1 = P_2 = 0,$$

нас интересует только одна функция – Φ , соответствующая прогибу w . Тогда можно принять

$$\begin{aligned} N_1 &= -\frac{1}{R^2} \cdot \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \beta^2}, \\ N_2 &= -\frac{1}{R^2} \cdot \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \alpha^2}, \end{aligned}$$

$$S = \frac{1}{R^2} \cdot \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \alpha \cdot \partial \beta}. \quad (4)$$

Из четвертого и пятого уравнений системы (1) определим Q_1 и Q_2 .
Формулы для их определения будут иметь вид

$$Q_2 = \frac{\partial H_1}{R \cdot \partial \alpha} + \frac{\partial M_2}{R \cdot \partial \beta}, \quad (5)$$

$$Q_1 = \frac{\partial M_1}{R \cdot \partial \alpha} + \frac{\partial H_2}{R \cdot \partial \beta}.$$

Подставим в (5) значения для M_1 , M_2 и H_1 , H_2 из (3), получим

$$\frac{\partial H_1}{\partial \alpha} = \frac{E \cdot h^3 \cdot \partial X}{12 \cdot (1 + \nu) \cdot \partial \alpha}; \quad \frac{\partial M_2}{\partial \beta} = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 + \nu) \cdot (1 - \nu)} \cdot \left(\frac{\partial \chi_2}{\partial \beta} + \nu \cdot \frac{\partial \chi_1}{\partial \beta} \right);$$

$$Q_2 = \frac{E \cdot h^3 \cdot \partial X \cdot (1 - \nu)}{R \cdot 12 \cdot (1 + \nu) \cdot (1 - \nu) \cdot \partial \alpha} + \frac{E \cdot h^3}{R \cdot 12 \cdot (1 + \nu) \cdot (1 - \nu)} \cdot \left(\frac{\partial \chi_2}{\partial \beta} + \nu \cdot \frac{\partial \chi_1}{\partial \beta} \right);$$

$$Q_2 = \frac{E \cdot h^3}{R \cdot 12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left[\frac{\partial X}{\partial \alpha} + \frac{1}{1 - \nu} \cdot \left(\frac{\partial \chi_2}{\partial \beta} + \nu \cdot \frac{\partial \chi_1}{\partial \beta} \right) \right];$$

$$Q_2 = \frac{E \cdot h^3}{R \cdot 12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left[(1 - \nu) \cdot \frac{\partial X}{\partial \alpha} + \left(\frac{\partial \chi_2}{\partial \beta} + \nu \cdot \frac{\partial \chi_1}{\partial \beta} \right) \right];$$

$$Q_2 = \frac{D}{R} \cdot \left[(1 - \nu) \cdot \frac{\partial X}{\partial \alpha} + \left(\frac{\partial \chi_2}{\partial \beta} + \nu \cdot \frac{\partial \chi_1}{\partial \beta} \right) \right];$$

$$Q_2 = \frac{D}{R^3} \cdot \left[-(1 - \nu) \cdot \frac{\partial^3 w}{\partial \alpha^2 \cdot \partial \beta} + (1 - \nu) \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial \alpha^2} - \frac{\partial^3 w}{\partial \beta^3} + \frac{\partial^2 v}{\partial \beta^2} - \frac{\partial w}{\partial \beta} - \frac{\nu \cdot \partial^3 w}{\partial \alpha^2 \cdot \partial \beta} \right].$$

Группируя слагаемые, получим:

$$Q_2 = \frac{D}{R^3} \cdot \left[-\frac{\partial^3 w}{\partial \alpha^2 \cdot \partial \beta} - \nu \cdot \frac{\partial^3 w}{\partial^2 \alpha \partial \beta} - \nu \cdot \frac{\partial^3 w}{\partial^2 \alpha \partial \beta} - \frac{\partial^3 w}{\partial \beta^3} - \frac{\partial w}{\partial \beta} \right] +$$

$$+ \left[(1 - \nu) \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial \alpha^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial \beta^2} \right]$$

Исключая второе слагаемое как мало влияющее на результат, получим

$$Q_2 = \frac{D}{R^3} \cdot \frac{\partial}{\partial \beta} \left[-\frac{\partial^2 w}{\partial \beta^2} - \frac{\partial^2 w}{\partial \alpha^2} \right] - \frac{D \cdot \partial w}{R^3 \cdot \partial \beta},$$

или

$$Q_2 = -\frac{D}{R^3} \cdot \frac{\partial}{\partial \beta} \cdot \nabla^2 w - \frac{D \cdot \partial w}{R^3 \cdot \partial \beta}. \quad (6)$$

Аналогично получим для Q_1 :

$$Q_1 = -\frac{D}{R^3} \cdot \frac{\partial}{\partial \alpha} \cdot \nabla^2 w - \frac{D \cdot \partial w}{R^3 \cdot \partial \alpha}. \quad (7)$$

Так как рассматривается гибкая оболочка, необходимо учитывать большие углы поворота нормалей, то есть учитывается кривизна после деформации и проекции сдвигающих сил S_1 и S_2 . Учитывая выше названные изменения, третье уравнение равновесия получим в виде

$$\frac{\partial Q_1}{\partial \alpha} + \frac{\partial Q_2}{\partial \beta} - N_2 \cdot \left(R_2 + \frac{\partial^2 w}{R^2 \cdot \partial \beta^2} \right) - 2 \cdot \frac{\rho \cdot \partial^2 w}{R^2 \cdot \partial \alpha \cdot \partial \beta} + R \cdot P_3 = 0. \quad (8)$$

Подставив значение N_2 , получим, для слагаемых уравнения (8) следующие значения:

$$1 \text{ слагаемое} \quad \frac{\partial Q_1}{\partial \alpha} = \left[-\frac{D}{R^4} \cdot \frac{\partial^2}{\alpha^2} \cdot \nabla^2 w - \frac{D}{R^4} \cdot \frac{\partial w}{\partial \alpha^2} \right];$$

$$2 \text{ слагаемое} \quad \frac{\partial Q_2}{\partial \beta} = \left[-\frac{D}{R^4} \cdot \frac{\partial^2}{\beta^2} \cdot \nabla^2 w - \frac{D}{R^4} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \beta^2} \right];$$

$$3 \text{ слагаемое} \quad N_2 \cdot K_2 = -\frac{1}{R^2} \cdot \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \alpha^2} \cdot K_2 = \frac{1}{R^3} \cdot \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \alpha^2};$$

$$4 \text{ слагаемое} \quad N_2 \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \beta^2} = \frac{1}{R^4} \cdot \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \alpha^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \beta^2};$$

$$5 \text{ слагаемое} \quad 2 \cdot S_2 \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \alpha \cdot \partial \beta} = \frac{2}{R^4} \cdot \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \alpha \cdot \partial \beta} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \alpha \cdot \partial \beta}.$$

После подстановки R :

$$\frac{D}{R^4} \cdot (-\nabla^2 \nabla^2 w - \nabla^2 w) + \frac{1}{R^3} \cdot \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \alpha^2} + \frac{1}{R^4} \cdot \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \alpha^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \beta^2} -$$

$$- \frac{2}{R^4} \cdot \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \alpha \cdot \partial \beta} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \alpha \cdot \partial \beta} + R \cdot P_3 = 0$$

Вводя сокращенную запись, получим

$$D \cdot (-\nabla^2 \nabla^2 w - \nabla^2 w) = R \cdot \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \alpha^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \alpha^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \beta^2} - \frac{2 \cdot \partial \Phi}{\partial \alpha \cdot \partial \beta} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \alpha \cdot \partial \beta}$$

или

$$D \cdot (-\nabla^2 \nabla^2 w - \nabla^2 w) = R \cdot \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \alpha^2} + L \cdot (w, \Phi) + R^5 \cdot P_3 = 0; \quad (9)$$

где

$$L \cdot (w, \Phi) = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \alpha^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \alpha^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \beta^2} - \frac{2 \cdot \partial^2 \Phi}{\partial \alpha \cdot \partial \beta} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \alpha \cdot \partial \beta}$$

Второе уравнение получим в предположении соблюдения условий (2) с учетом физических уравнений в виде

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E \cdot h} \cdot (N_1 - \nu \cdot N_2),$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{E \cdot h} \cdot (N_2 - \nu \cdot N_1),$$

$$\chi_1 = \frac{12}{E \cdot h^3} \cdot (M_1 - \nu \cdot M_2), \quad (10)$$

$$\chi_2 = \frac{12}{E \cdot h^3} \cdot (M_2 - \nu \cdot M_1),$$

$$\gamma = \frac{2 \cdot (1 + \nu)}{E \cdot h} \cdot S,$$

$$X = \frac{12 \cdot (1 + \nu)}{E \cdot h} \cdot H.$$

Тогда получим следующие условия:

$$\frac{(N_1 - v \cdot N_2)}{E \cdot h} = \frac{1}{R} \frac{\partial u}{\partial \alpha} + \frac{1}{2R^2} \left(\frac{\partial w}{\partial \alpha} \right)^2;$$

$$\frac{(N_2 - v \cdot N_1)}{E \cdot h} = \frac{1}{R} \frac{\partial v}{\partial \beta} + \frac{W}{R} + \frac{1}{2R^2} \left(\frac{\partial w}{\partial \beta} \right)^2; \quad (11)$$

$$\frac{2(1+v) \cdot S}{E \cdot h} = \frac{1}{R} \cdot \frac{\partial u}{\partial \beta} + \frac{1}{R} \cdot \frac{\partial v}{\partial \alpha} + \frac{1}{R^2} \left(\frac{\partial w}{\partial \alpha} \cdot \frac{\partial w}{\partial \beta} \right).$$

Продифференцируем дважды по β первое уравнение системы (11) и дважды по α второе уравнение, а третье – один раз по α и один раз по β , в результате получим:

$$\frac{1}{E \cdot h} \cdot \frac{\partial^2 (N_1 - v \cdot N_2)}{\partial \beta^2} = \frac{1}{R^3} \cdot \frac{\partial^3 u}{\partial \alpha \partial \beta^2} + \frac{1}{2R^4} \frac{\partial^2}{\partial \beta^2} \left(\frac{\partial w}{\partial \alpha} \right)^2;$$

$$\frac{1}{E \cdot h} \cdot \frac{\partial^2 (N_2 - v \cdot N_1)}{\partial \alpha^2} = \frac{1}{R^3} \frac{\partial^3 v}{\partial \alpha^2 \partial \beta} + \frac{1}{R^3} \frac{\partial^2 w}{\partial \alpha^2} + \frac{1}{2R^4} \frac{\partial^2}{\partial \alpha^2} \left(\frac{\partial w}{\partial \beta} \right)^2; \quad (12)$$

$$\frac{1}{E \cdot h} \cdot 2(1+v) \frac{\partial^2 S}{\partial \alpha \partial \beta} = \frac{1}{R^3} \frac{\partial^3 u}{\partial \alpha^2 \partial \beta} + \frac{1}{R^3} \frac{\partial^3 v}{\partial \alpha^2 \partial \beta} + \frac{1}{R^4} \frac{\partial^2}{\partial \alpha \partial \beta} \left(\frac{\partial w}{\partial \alpha} \cdot \frac{\partial w}{\partial \beta} \right).$$

Левую часть второго уравнения получим после сложения двух первых уравнений и вычитанием третьего, системы (12)

$$\frac{1}{E \cdot h} \cdot \frac{\partial^2 (N_1 - v \cdot N_2)}{\partial \beta^2} + \frac{1}{E \cdot h} \cdot \frac{\partial^2 (N_2 - v \cdot N_1)}{\partial \alpha^2} - \frac{1}{E \cdot h} \cdot 2(1+v) \cdot S$$

или после подставим N_1 , N_2 , S и получим

$$\frac{1}{E \cdot h} \left(-\frac{1}{R^4} \cdot \frac{\partial^4 \Phi}{\partial \beta^4} + v \cdot \frac{1}{R^4} \cdot \frac{\partial^4 \Phi}{\partial \alpha^2 \partial \beta^2} - \frac{1}{R^4} \cdot \frac{\partial^4 \Phi}{\partial \alpha^4} + v \cdot \frac{1}{R^4} \cdot \frac{\partial^4 \Phi}{\partial \alpha^2 \partial \beta^2} - \frac{2}{R^4} \cdot \frac{\partial^4 \Phi}{\partial \alpha^2 \partial \beta^2} - \frac{2 \cdot v}{R^4} \cdot \frac{\partial^4 \Phi}{\partial \alpha^2 \partial \beta^2} \right).$$

После сокращения и введения сокращенной записи получим левую часть второго уравнения:

$$\frac{1}{R^4 E \cdot h} \left(\nabla^2 \nabla^2 \Phi - 2 \frac{\partial^4 \Phi}{\partial \alpha^2 \partial \beta^2} \right).$$

В уравнениях системы (12) в правых частях, производные нелинейных членов определяются выражениями:

$$\begin{aligned} -\frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial \beta^2} \left(\frac{\partial w}{\partial \alpha} \right)^2 &= \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial \beta} \left[2 \frac{\partial w}{\partial \alpha} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \alpha \partial \beta} \right] = \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \alpha \partial \beta} \right)^2 + \frac{\partial w}{\partial \alpha} \cdot \frac{\partial^3 w}{\partial \alpha \partial \beta^2}; \\ -\frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial \alpha^2} \left(\frac{\partial w}{\partial \beta} \right)^2 &= \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial \alpha} \left[2 \frac{\partial w}{\partial \beta} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \alpha \partial \beta} \right] = \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \alpha \partial \beta} \right)^2 + \frac{\partial w}{\partial \beta} \cdot \frac{\partial^3 w}{\partial \alpha^2 \partial \beta}; \quad (13) \\ -\frac{\partial^2}{\partial \alpha \partial \beta} \left(\frac{\partial w}{\partial \alpha} \cdot \frac{\partial w}{\partial \beta} \right) &= \frac{\partial}{\partial \alpha} \left[\frac{\partial^2 w}{\partial \alpha \partial \beta} \cdot \frac{\partial w}{\partial \beta} + \frac{\partial w}{\partial \alpha} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \beta^2} \right] = \frac{\partial^3 w}{\partial \alpha^2 \partial \beta} \cdot \frac{\partial w}{\partial \beta} + \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \alpha \partial \beta} \right)^2 + \\ &+ \frac{\partial^2 w}{\partial \alpha^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \beta^2} + \frac{\partial w}{\partial \alpha} \cdot \frac{\partial^3 w}{\partial \alpha \partial \beta^2}. \end{aligned}$$

Подставив значения производных (13), складывая и вычитая, получаем правую часть второго уравнения:

$$\begin{aligned} &\frac{1}{R^3} \cdot \left(\frac{\partial^3 u}{\partial \alpha \partial \beta^2} \right) + \frac{1}{R^4} \cdot \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \alpha \partial \beta} \right)^2 + \frac{1}{R^4} \cdot \frac{\partial w}{\partial \beta} \cdot \frac{\partial^3 w}{\partial \alpha^2 \partial \beta} + \frac{1}{R^3} \cdot \left(\frac{\partial^3 v}{\partial \beta \partial \alpha^2} \right) + \frac{1}{R^3} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \alpha^2} + \\ &+ \frac{1}{R^4} \cdot \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \alpha \partial \beta} \right)^2 + \frac{1}{R^4} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \beta} \cdot \frac{\partial^3 w}{\partial \alpha^2 \partial \beta} - \frac{1}{R^3} \cdot \frac{\partial^3 u}{\partial \beta^2 \partial \alpha} - \frac{1}{R^3} \cdot \left(\frac{\partial^3 v}{\partial \alpha \partial \beta} \right) - \frac{1}{R^4} \cdot \frac{\partial^3 v}{\partial \alpha^2 \partial \beta} - (14) \\ &- \frac{1}{R^4} \cdot \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \alpha \partial \beta} \right)^2 - \frac{1}{R^4} \cdot \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \alpha^2} \right) \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \beta^2} - \frac{1}{R^4} \cdot \frac{\partial w}{\partial \alpha} \cdot \frac{\partial^3 w}{\partial \alpha \partial \beta^2} \end{aligned}$$

После приведения подобных членов в(14) получим

$$\frac{1}{R^3} \cdot \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \alpha^2} \right) + \frac{1}{R^4} \cdot \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \alpha \partial \beta} \right)^2 - \frac{1}{R^4} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \alpha^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \beta^2}.$$

Второе уравнение получаем, соединив правую и левую части:

$$\frac{1}{R^4 E \cdot h} \cdot \left(\nabla^2 \nabla^2 w - 2 \frac{\partial^4 \Phi}{\partial \alpha^2 \partial \beta^2} \right) = \frac{1}{R^4} \cdot \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \alpha \partial \beta} \right) - \frac{1}{R^4} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \alpha^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \beta^2} - \frac{1}{R^3} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \alpha^2}.$$

После сокращения на R^4 и введения бигармонического оператора, получим систему двух уравнений относительно двух неизвестных w и Φ :

$$D \cdot (\nabla^2 \nabla^2 w + \nabla^2 w) = R \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \alpha^2} + L(w, \Phi) + R^5 P_3;$$
$$\frac{1}{E \cdot h} \cdot \left(\nabla^2 \nabla^2 w - 2 \frac{\partial^4 \Phi}{\partial \alpha^2 \partial \beta^2} \right) = R \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \alpha^2} + L(w, w) = 0.$$

Список литературы

1. Колчунов Н.В. Основы расчета упругих оболочек / Н.В. Колчунов. М.: Высш. шк., 1972. 296 с.
2. Власов В.З. Тонкостенные упругие стержни и оболочки с жестким открытым профилем. Добавление к книге С.П. Тимошенко «Устойчивость упругих систем» / В.З. Власов. М.: Гостехиздат, 1946. С. 438-527.
3. Гришунин В.Е. Расчет цилиндрической оболочки силоса / В.Е. Гришунин, И.М. Кузнецов. М., 1999. 7 с. Деп. в ВИНТИ РАН 15.06.99, №1939–В99.
4. Кузнецов И.М. Пространственная работа гибкого металлического силоса с наружным стержневым каркасом: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / И.М. Кузнецов. – Москва, 2000. – 181 с.

УДК 539.3

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАБОТЫ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА СКЛОНАХ С ОПОЛЗНЕВЫМИ ПРОЦЕССАМИ

**Редков Валерий Иванович,
Чурочкин Никита Сергеевич**

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., Россия*

e-mail: found2010@mail.ru, slim1887@yandex.ru

***Аннотация.** Приводятся результаты компьютерного моделирования геотехнических условий работы и напряженно-деформированного состояния основания подземных сооружений резервуарного типа. Для основных эксплуатационных схем работы подземных резервуаров и грунтового основания установлен характер распределения напряжений и перемещений с выявлением областей предельного состояния геомассива.*

***Ключевые слова:** геотехнические условия, основание, резервуар, 3D-модель, напряженно-деформированное состояние*

GEOTECHNICAL WORKING CONDITIONS OF UNDERGROUND STRUCTURES ON SLOPES WITH LANDSLIDE PROCESSES

**Redkov Valery Ivanovich,
Churochkin Nikita Sergeevich**

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia
e-mail: found2010@mail.ru, slim1887@yandex.ru

***Abstract.** The results of computer modeling of geotechnical working conditions and the stress-strain state of the basement of reservoir-type underground structures are presented. The nature of stress and displacement distribution is established for the main operational schemes of underground reservoirs and ground base, with the identification of areas of the geomassive limit state.*

***Keywords:** geotechnical conditions, basement, reservoir, 3D model, stress-strain state*

Проблема обеспечения устойчивости склонов и инженерной защиты городских территорий с активными геодинамическими процессами является исключительно важной и актуальной для Саратова. Сложность топографических, геологических условий в сочетании и подтоплением территории формируют особые условия для строительства и эксплуатации зданий и инженерных сооружений.

Площадь потенциально опасных оползневых участков на городской территории составляет 2700 га [1, 2]. В оползневую зону входят 16 км прибрежной полосы от Гуселки до Глебучева оврага и от поселка Лесопильный до поселка Нефтяной.

Коэффициенты устойчивости склонов в районе Гуселки, Зоналки, Лысой горы, Князевского склона меньше 1. На территории города зафиксировано 30 действующих оползневых участков, общая площадь которых составляет 500 га. Систематически проявляются оползневые деформации склонов Соколовгорского, Лысогорского массивов, а также Октябрьского и Смирновского ущелий.

Поэтому одной из основных задач экспертизы и мониторинга урбанизированных территорий и строительных объектов в сложных геотехнических условиях г. Саратова является выявление, оценка и прогнозирование геологических рисков развития чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

Компьютерное моделирование с использованием специализированных программных комплексов является одним из важных инструментов исследования напряженно-деформированного состояния грунтовых массивов для оценки критических параметров техногенного нагружения и геотехнических рисков эксплуатации строительных объектов на территории с оползневыми процессами [1, 2].

В данной статье приводятся результаты численного моделирования для оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) склона Соколовгорского массива, нагруженного полезной нагрузкой от инженерных сооружений резервуарного типа и работающего в условиях подтопления территории.

Построение модели и численные расчеты методом конечных элементов (МКЭ) выполнены с использованием программного комплекса PLAXIS 3D Foundation. Этот комплекс успешно применяется для геотехнических расчетов напряженно-деформированного состояния и устойчивости геомассивов и позволяет выполнять расчеты систем «нелинейно-деформируемое основание – подземное сооружение» на различных этапах строительства и эксплуатации.

При построении компьютерной 3D-модели геотехнической системы использованы материалы инженерно-геологических изысканий на площадке Соколовгорского массива г. Саратова и материалы обследования технического состояния двух подземных резервуаров объемом по 20000 м³ каждый [3].

В соответствии с заданием, разработанным СГТУ, на площадке были проведены инженерно-геологические изыскания с бурением 20 скважин и вскрытием 16 шурфов, обследование ограждающих и фундаментных конструкций подземных сооружений в шурфах, а также полевые испытания грунтов методом статического зондирования [3].

Два отдельных резервуара с размерами в плане по 54 × 60 м и высотой 6 м построены в 1989 г.

Стены, колонны и перекрытия изготовлены из типовых сборных железобетонных конструкций. Колонны сечением 400 × 400 мм (с шагом 6 м) жестко закреплены в подколонниках (с размерами подошвы 2,1 × 2,1 м и высотой 1,05 м), которые опираются на монолитное железобетонное днище.

Плита днища резервуара толщиной 12 см на бетонной подготовке толщиной 10 см по контуру сопрягается с плитной частью стенового ограждения.

Сборные стеновые панели толщиной 150 мм и размерами 3 × 6 м соединены между собой сваркой закладных деталей и монолитным бетоном. Угловые стыки решены в монолитном варианте. Несущая система резервуаров образована одноэтажными рамами с ригелями, опирающимися на колонны. При натурном обследовании конструкций резервуара установлено наличие трещин в плите днища шириной раскрытия от 0,2 до 3 мм и локальные участки механических повреждений на глубину до 120 мм. В стыках между сборными панелями стен имеются вертикальные трещины с шириной раскрытия до 1 мм на всю высоту сооружений, а также горизонтальные трещины в местах сопряжения стен и днища.

Анализ схемы обводненности территории водопроводного комплекса показал наличие зон интенсивного обводнения вследствие утечек воды из подземных резервуаров, очистных емкостных сооружений и технологических трубопроводов.

По данным проведенных инженерно-геологических изысканий установлено, что в основании резервуаров залегают мелкие водонасыщенные

пески средней плотности, подстилаемые на глубине более 30 м суглинками и глинами (песок мелкий ожелезненный, средней плотности, влажный; суглинков желтовато-коричневый, плотный с включениями щебня, дресвы, опоки полутвердой-мягкопластичной консистенции; глины темно-серые, черные, плотные с присыпками светло-серого алевролита твердой консистенции).

Для компьютерного моделирования участка склона Соколовогорского массива с комплексом подземных резервуаров в ПК PLAXIS 3D Foundation построена КЭ-модель (рис. 1).

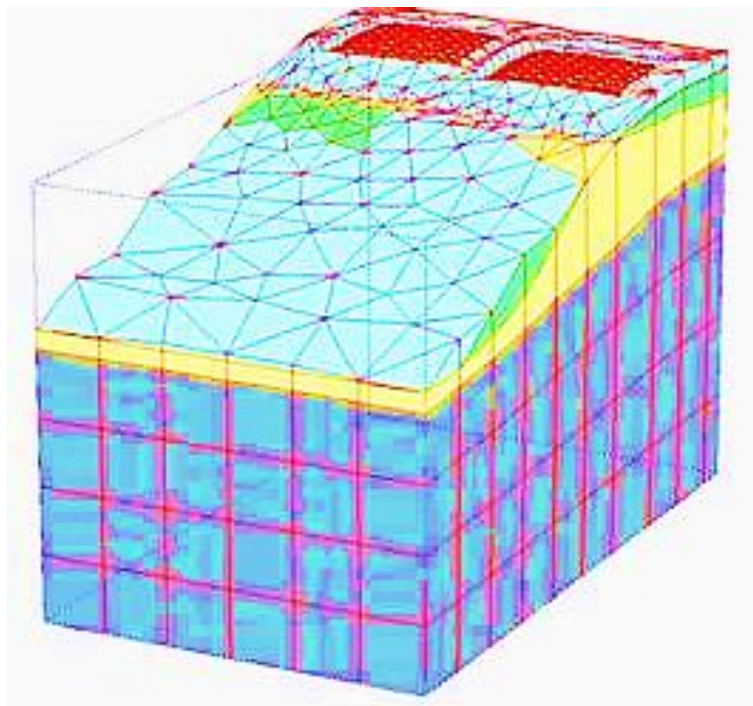


Рис. 1. 3D-модель геотехнической системы

При выполнении расчетов рассмотрены следующие расчетные фазы:
Фаза 0 – Начальные условия (включают начальную конфигурацию геометрической модели и начальное напряженное состояние с учетом природных гидрогеологических условий).

Фаза 1 – Активация конструктивных элементов резервуаров (осуществляется активация конструктивных элементов резервуаров, а также действующих нагрузок на фундаментную плиту днища резервуаров).

Фаза 2 – Активация нагрузки от гидростатического давления воды (выполняется активация нагрузки от гидростатического давления воды на днище и стенки резервуаров).

Фаза 3 – Деактивация нагрузки от гидростатического давления воды. (осуществляется деактивация нагрузки от гидростатического давления воды на днище и стенки резервуаров. При этом может учитываться измене-

ние физико-механических свойств грунтов основания в следствии их увлажнения в результате утечек воды из резервуаров).

Фаза 4 – Повторная активация нагрузки от гидростатического давления воды (осуществляется повторная активация нагрузки от гидростатического давления воды на днище и стенки резервуаров).

Расчеты НДС геомассива в ПК PLAXIS 3D Foundation выполнялись пошаговым методом последовательных нагружений с использованием модели упругопластической среды основания Кулона-Мора.

Результатом МКЭ-расчетов геотехнической системы являются все компоненты напряжений, перемещений в геомассиве и усилий в конструктивных элементах резервуаров (плитах днища).

На рис. 2-6 приведены отдельные результаты геотехнических расчетов в виде 3D-изополей перемещений и напряжений в геомассиве.

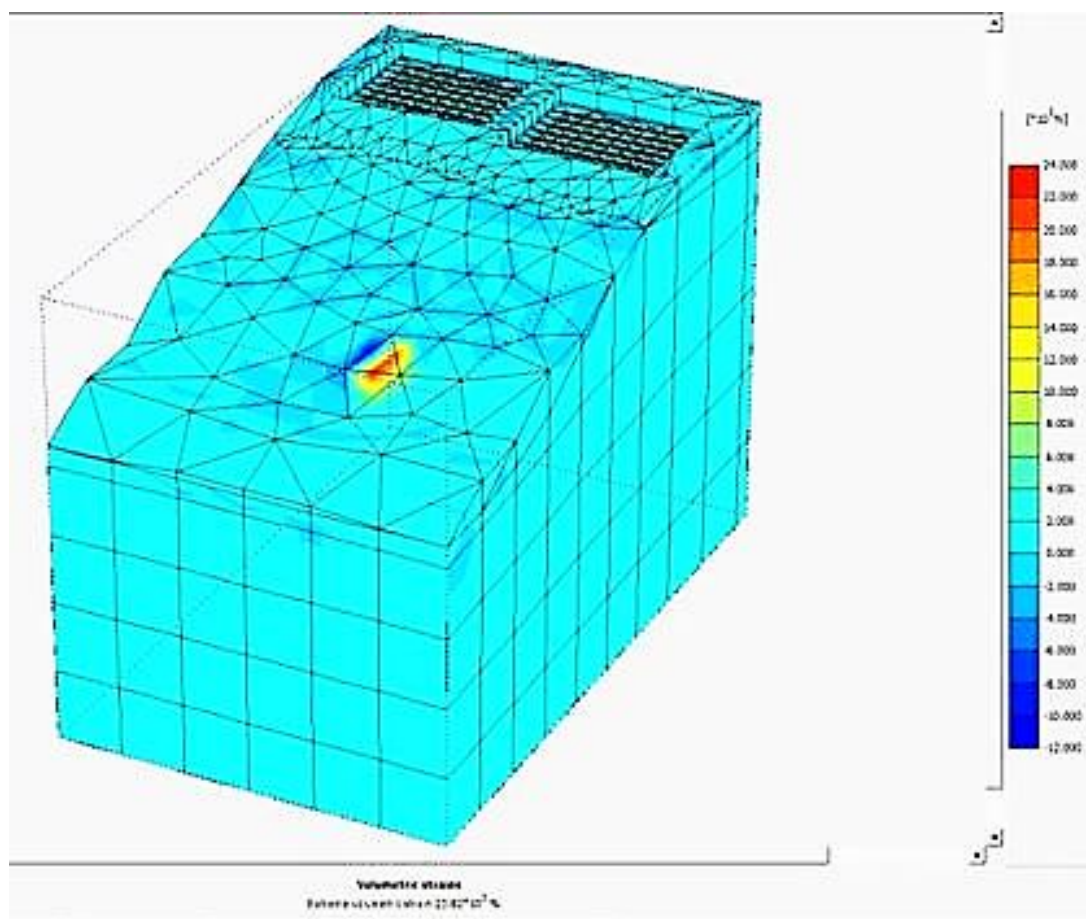


Рис. 2. Изополя объемных деформаций

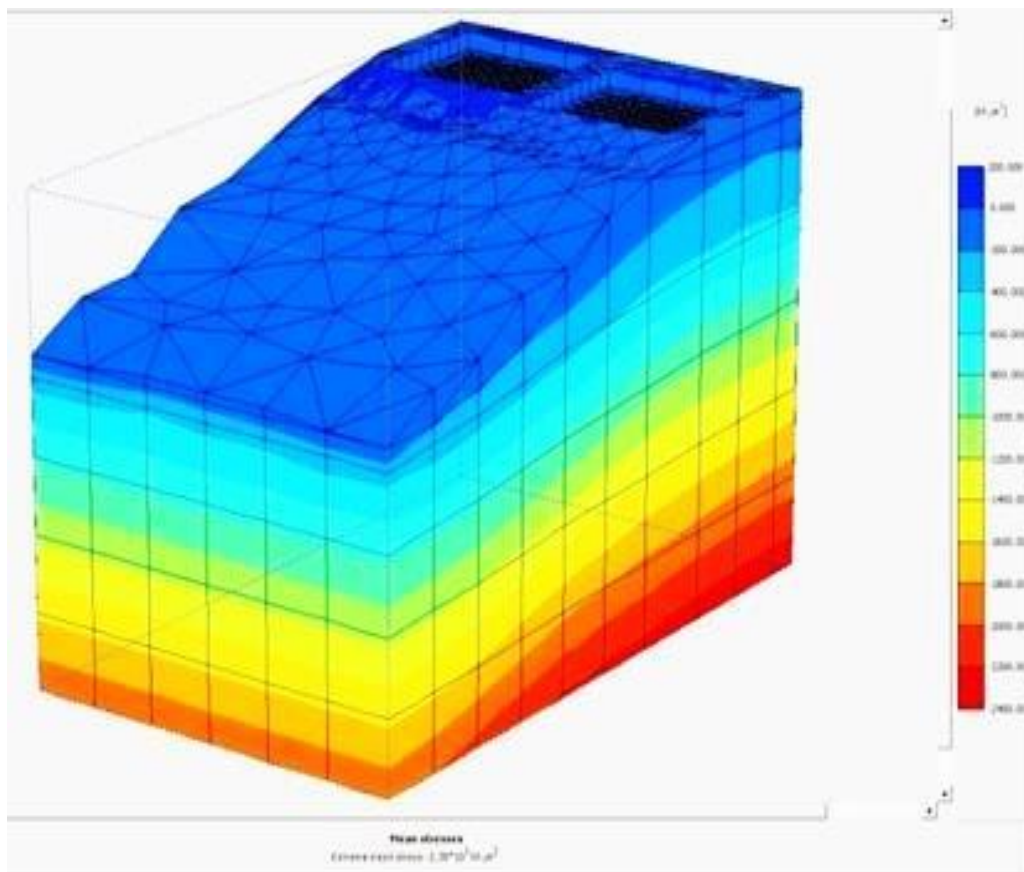


Рис. 3. Изополю главных напряжений

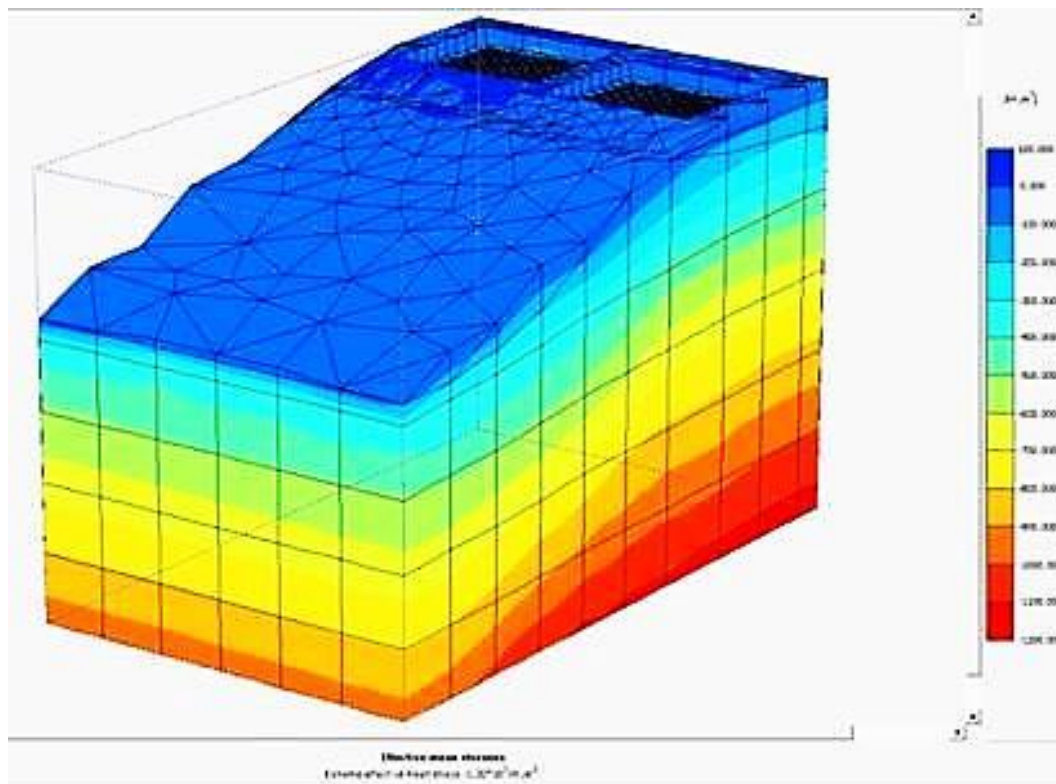


Рис. 4. Изополю эффективных напряжений

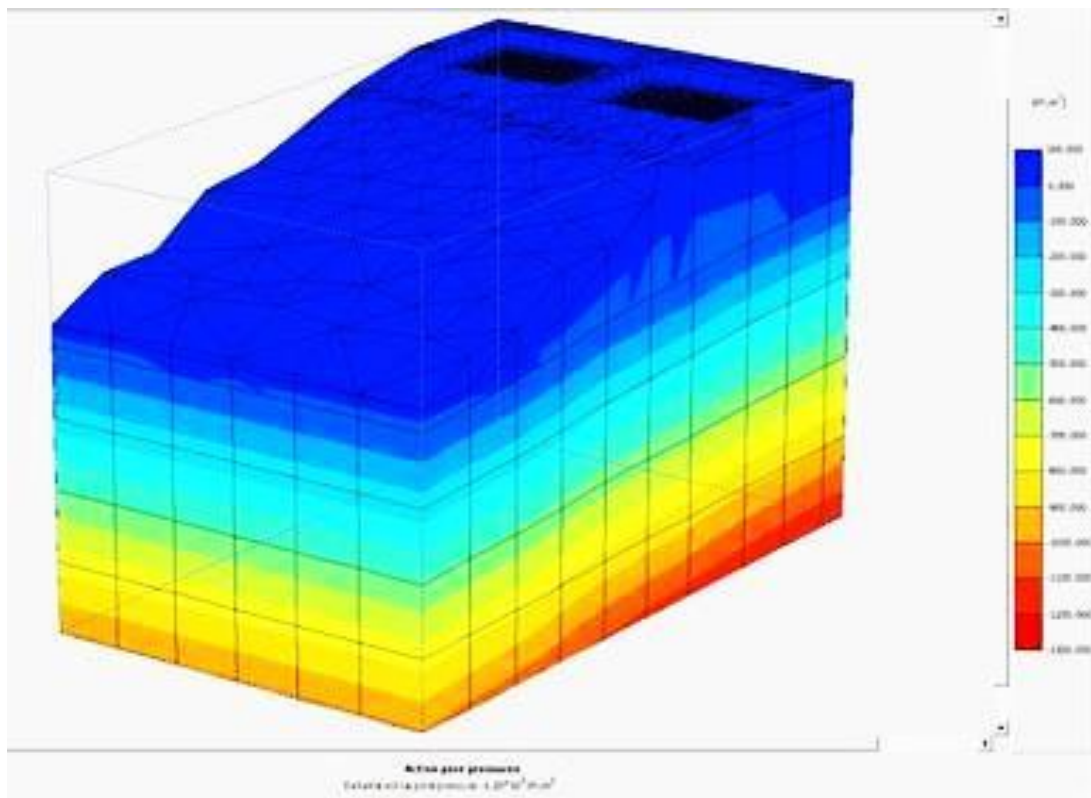


Рис. 5. Изополя активных поровых давлений

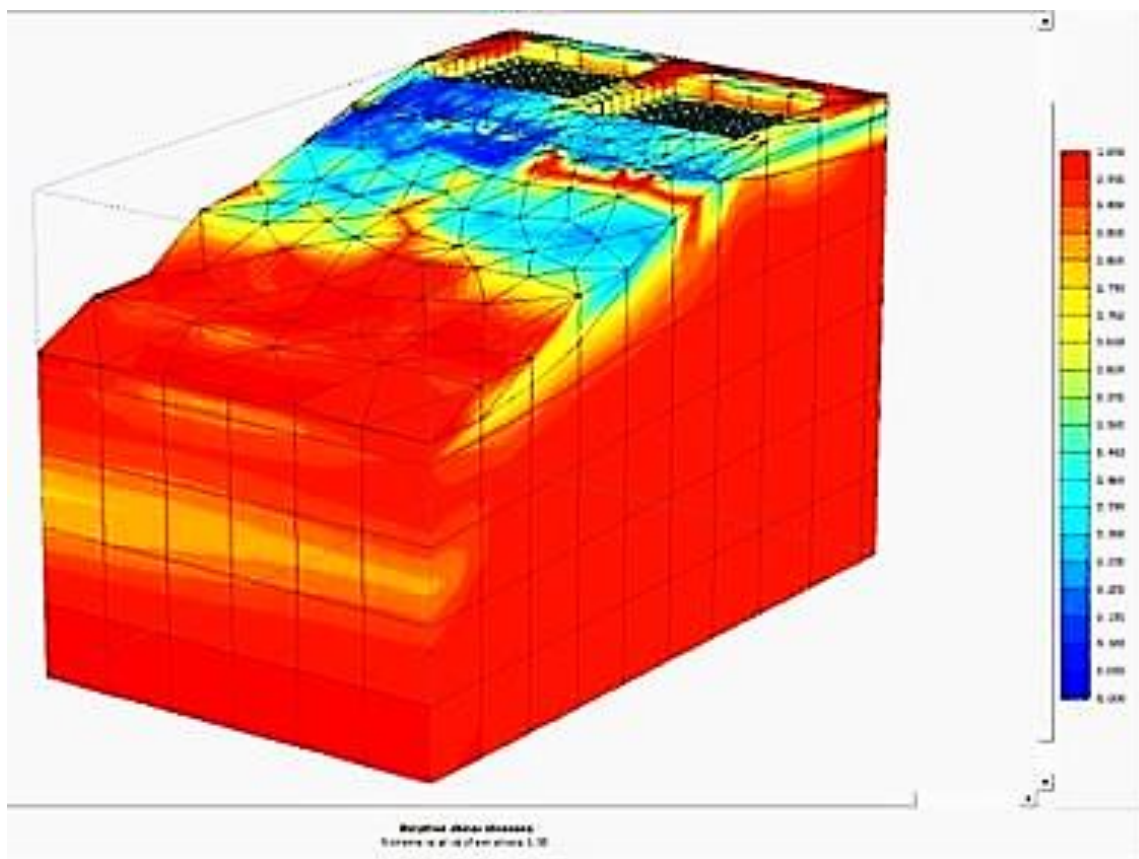


Рис. 6. Изополя относительных касательных напряжений

Изополя перемещений, нормальных и касательных напряжений в основании подземных резервуаров дают полную информацию о напряженно-деформированном состоянии геомассива. В сложившихся условиях эксплуатации резервуарных сооружений в верхней части склона возможно образование локальных участков неустойчивого состояния основания из песчаных грунтов (рис. 2, 6).

Распределение касательных напряжений в пределах массива склона имеет сложный пространственный характер. С глубиной значения касательных напряжений достигают предельных значений с образованием сплошных областей предельного состояния грунтов (рис. 6).

Построенная ПК PLAXIS 3D Foundation компьютерная модель склона Соколовогорского массива с комплексом подземных резервуаров позволяет осуществлять численное моделирование НДС геотехнической системы и осуществлять ее экспертизу и мониторинг на различных этапах жизненного цикла подземных инженерных сооружений, в том числе при развитии неблагоприятных и опасных техногенных процессов (изменение инженерно-геологических условий, подтопление и т. д.).

Список литературы

1. Иноземцев В.К. Математическая модель деформирования геомассивов применительно к деформационным процессам в основаниях сооружений / В.К. Иноземцев, В.И. Редков. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2005. 412 с.
2. Иноземцев В.К. Экспертиза и мониторинг урбанизированных территорий и строительных объектов: учеб. пособие / В.К. Иноземцев, В.И. Редков. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2017. 472 с.
3. Отчет о научно-технической работе по теме «Проектные и аварийно-восстановительные работы по водопроводному комплексу в г. Саратове» / НИИОСП им. Н.М. Герсевича. Москва, 2003.

УДК 539.4:624.07

РАСЧЕТ ТОНКОСТЕННОЙ БАЛКИ

Сурнин Дмитрий Аркадьевич, Шагивалеев Камиль Фатыхович

Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А., Россия

e-mail: dasurnin98@mail.ru, KFSHAG@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрена тонкостенная балка при действии равномерно распределенной на участке длины балки и не проходящей через центр изгиба нагрузки. На основе операционного исчисления, связанного с преобразованием Лапласа, получены в общем виде аналитические выражения для определения депланации, бимомента и полного крутящего момента.

Ключевые слова: балка, граничные условия, нагрузка, эксцентриситет, оригинал, изображение, депланация, бимомент, крутящий момент

CALCULATION OF A THIN-WALLED BEAM

Shagivaleev Kamil' Fatykhovich, Surnin Dmitrii Arkadievich

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

e-mail: dasurnin98@mail.ru, KFSHAG@yandex.ru

Abstract. A thin-walled beam is considered under the action of a load uniformly distributed over the section of the beam and not passing through the center of bending. On the basis of the operational calculus associated with the Laplace transform, analytical expressions are obtained in general form to determine the warping, bimoment and total torque.

Keywords: beam, boundary conditions, load, eccentricity, original, image, warping, bimoment, torque

Рассмотрим тонкостенную балку с шарнирными закреплениями по концам, нагруженную поперечной нагрузкой, равномерно распределенной на участке длины балки и не проходящей через центр изгиба (рис. 1):

В настоящей работе обозначения, положительные направления перемещений, усилий и моментов, допущения, дифференциальные зависимости приняты в соответствии с работой [1].

Если продольные края балки свободны от сдвигающих сил и внешняя нагрузка представлена только погонными поперечными силами $q_x(z)$, $q_y(z)$, и моментом $m(z)$ (наиболее часто встречающийся в практике случай) дифференциальные уравнения имеют вид [1]:

$$\left. \begin{aligned} EA\zeta'' &= 0; \\ EI_y \xi^{IV} &= q_x; \\ EI_x \eta^{IV} &= q_y; \\ EI_\omega \theta^{IV} - GI_d \theta'' &= m(z). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

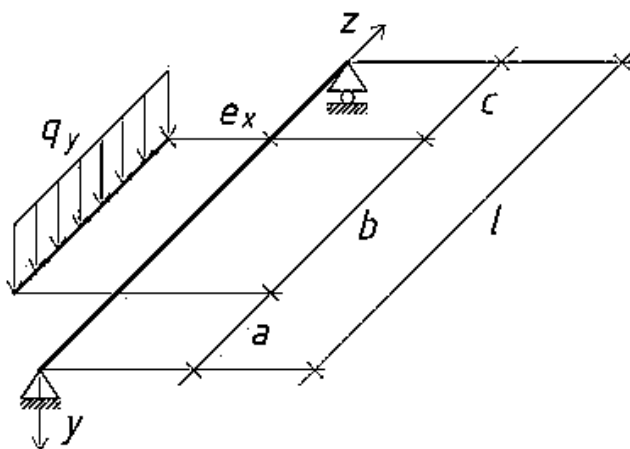


Рис. 1. Расчетная схема балки

В настоящей работе опустим все, относящееся к изгибу балок (первые три уравнения (1)), и займемся только изучением кручения балки, возникающего в общем случае действия поперечной нагрузки (четвертая формула (1)).

$$EI_{\omega} \theta^{IV} - GI_d \theta'' = m(z), \quad (2)$$

где $m(z)$ – свободный член, представляющий собой в случае действия одной только поперечной нагрузки внешний крутящий момент, приходящийся на единицу длины балки;

GI_d – жесткость при чистом кручении;

EI_{ω} – секториальная жесткость.

Если $q_y(z)$ – поперечная нагрузка, действующая по направлению главной оси y , а e_x – эксцентриситет этой нагрузки относительно центра изгиба, то внешний погонный крутящий момент m (рис. 1):

$$m = q_y e_x. \quad (3)$$

Разделим уравнение (1) на EI_{ω} и введем обозначение

$$k^2 = \frac{GI_d l^2}{EI_{\omega}}, \quad (4)$$

где l – длина балки.

Тогда дифференциальное уравнение (2) при действии рассматриваемой нагрузки (рис. 1) имеет вид

$$\theta^{IV} - \frac{k^2}{l^2} \theta'' = \begin{cases} 0, & \text{при } 0 \leq z < a; \\ \frac{m}{EI_{\omega}}, & \text{при } a \leq z \leq a+b; \\ 0, & \text{при } a+b < z \leq l. \end{cases} \quad (5)$$

Граничные условия при рассматриваемом способе закрепления балки имеют вид:

При $z=0$ и при $z=l$

$$\theta = \theta'' = 0. \quad (6)$$

Для решения дифференциального уравнения (5) применим операционное исчисление, связанное с преобразованием Лапласа [2].

Полагая $\theta(z) \Leftrightarrow W(p)$ и учитывая граничные условия при $z = 0$ (6), по теореме дифференцирования оригинала [2] получим

$$\theta'(z) \Leftrightarrow pW(p);$$

$$\theta''(z) \Leftrightarrow p^2 W(p);$$

$$\theta'''(z) \Leftrightarrow p^3 W(p) - \theta''(0); \quad (7)$$

$$\theta^{IV}(z) \Leftrightarrow p^4 W(p) - p\theta'' - \theta'''(0),$$

где p – комплексный параметр;

$\theta''(0)$ и $\theta'''(0)$ – произвольные постоянные.

Изображение правой части уравнения (5):

$$\frac{m}{EI_\omega} \Leftrightarrow \frac{m}{EI_\omega} \frac{1 - e^{-pb}}{p} \cdot e^{-pa}. \quad (8)$$

Пусть $\frac{k}{l} = \lambda$.

Переходя в уравнении (5) от оригиналов к изображениям (7) и (8), получаем операторное уравнение:

$$p^4 W(p) - p^2 \theta'(0) - \theta'''(0) - \lambda^2 p^2 W(p) + \lambda^2 \theta'(0) = \frac{m}{EI_\omega} \frac{1 - e^{-pb}}{p} \cdot e^{-pa}. \quad (9)$$

Из (9) находим:

$$W(p) = \frac{m}{EI_\omega} \frac{1 - e^{-pb}}{p} \cdot e^{-pa} \cdot \frac{1}{p^3(p^2 - \lambda^2)} + \frac{1}{p^2} \theta'(0) + \frac{1}{p^2(p^2 - \lambda^2)} \theta'''(0). \quad (10)$$

Переходя в (10) от изображений к оригиналам [2], получаем искомое решение:

$$\begin{aligned} \theta(z) = & \frac{m}{EI_\omega} \frac{1}{\lambda^4} \left\{ \left[-1 - \frac{1}{2} \lambda^2 (z-a)^2 + ch \lambda (z-a) \right] \eta(z-a) - \right. \\ & \left. - \left[-1 - \frac{1}{2} \lambda^2 (z-a-b)^2 + ch \lambda (z-a-b) \right] \eta(z-a-b) + z \theta'(0) + \right. \\ & \left. + \frac{1}{\lambda^2} \left(-z + \frac{1}{\lambda} sh \lambda z \right) \theta'''(0), \right. \end{aligned} \quad (11)$$

где $\eta(z-a)$ – единичная функция, которая при $z \geq a$ равна 1 и при $z < a$ равна 0;

$\eta(z-a-b)$ – единичная функция, которая при $z > a+b$ равна 1 и при $z \leq a+b$ равна 0.

Единичные функции $\eta(z-a)$ и $\eta(z-a-b)$ приняты только для сокращения записи выражений и указывают на то, с какого значения координаты z появляется в выражении данное слагаемое.

Произвольные постоянные $\theta(0)$ и $\theta''(0)$ находим из граничных условий при $z=l$ (6).

Окончательно имеем

$$\begin{aligned} \theta(z) = & \frac{m}{EI_{\omega}} \frac{1}{\lambda^4} \left\{ \left[-1 - \frac{1}{2} \lambda^2 (z-a)^2 + ch \lambda (z-a) \right] \eta(z-a) - \right. \\ & \left. - \left[-1 - \frac{1}{2} \lambda^2 (z-a-b)^2 + ch \lambda (z-a-b) \right] \eta(z-a-b) + \right. \\ & \left. + \frac{1}{2l} z \lambda^2 b (2l-2a-b) - \frac{sh \lambda z}{sh \lambda l} [ch \lambda (l-a) - ch \lambda (l-a-b)] \right\}. \end{aligned} \quad (12)$$

Имея $\theta(z)$, по дифференциальным зависимостям [1] можно записать выражения для деформации балки при кручении θ' , бимоента B и полного крутящего момента H :

$$\begin{aligned} \theta'(z) = & \frac{d\theta}{dz} = \frac{m}{EI_{\omega}} \frac{1}{\lambda^3} \left\{ [-\lambda(z-a) + sh \lambda (z-a)] \eta(z-a) - \right. \\ & \left. - [-\lambda(z-a-b) + sh \lambda (z-a-b)] \eta(z-a-b) + \right. \\ & \left. + \frac{1}{2l} \lambda b (2l-2a-b) - \frac{ch \lambda z}{sh \lambda l} [ch \lambda (l-a) - ch \lambda (l-a-b)] \right\}; \\ B(z) = & -EI_{\omega} \theta''(z) = -m \frac{1}{\lambda^2} \left\{ [-1 + ch \lambda (z-a)] \eta(z-a) - \right. \\ & \left. - [-1 + ch \lambda (z-a-b)] \eta(z-a-b) - \frac{sh \lambda z}{sh \lambda l} [ch \lambda (l-a) - ch \lambda (l-a-b)] \right\}; \\ H(z) = & -EI_{\omega} \theta'''(z) + GI_a = -m \left\{ [(z-a)] \eta(z-a) - \right. \\ & \left. - [(z-a-b)] \eta(z-a-b) - \frac{1}{2l} b (2l-2a-b) \right\}. \end{aligned} \quad (13)$$

Выражения (13) получены в общем виде. Они позволяют получить решения для тонкостенной балки при любом положении участка нагружения по длине балки и при различных размерах участка нагружения. Положив в выражениях (13) $a=0$, $b=l$, можно получить решения для балки при действии нагрузки по всей длине балки.

Для инженеров-проектировщиков, научных работников, аспирантов и студентов.

Список литературы

1. Власов В.З. Тонкостенные упругие стержни / В.З. Власов. М.: Физматгиз, 1959. 568 с.
2. Араманович И.Г. Функции комплексного переменного. Операционное исчисление. Теория устойчивости / И.Г. Араманович, Г.Л. Лунц, Л.Э. Эльсгольд. М.: Наука, 1968. 416 с.

УДК 624.074.4.04

АНИЗОТРОПНАЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ОБОЛОЧКА ПРИ ДЕЙСТВИИ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКИ

Шагивалеев Камилъ Фатыхович, Сурнина Елена Камилевна
*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, e-mail: KFSHAG@yandex.ru, eksurnina@mail.ru*

***Аннотация.** Рассмотрена анизотропная замкнутая цилиндрическая оболочка при действии осесимметричной нагрузки, равномерно распределенной на участке длины оболочки. На основе операционного исчисления, связанного с преобразованием Лапласа, получены в общем виде аналитические выражения для определения радиального перемещения, усилий и моментов.*

***Ключевые слова:** оболочка, граничные условия, нагрузка, оригинал, изображение, произвольные постоянные, перемещение, усилия, моменты*

ANISOTROPIC CYLINDRICAL SHELL UNDER THE ACTION OF AXISYMMETRIC LOAD

Shagivaleev Kamil' Fatihovich, Surnina Elena Kamilevna
*Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia,
e-mail: KFSHAG@yandex.ru, eksurnina@mail.ru*

***Abstract.** An anisotropic closed cylindrical shell is considered under the action of an axisymmetric load uniformly distributed over the length of the shell. On the basis of the operational calculus associated with the Laplace transform, analytical expressions are obtained in general form to determine the radial displacement, forces and moments.*

***Keywords:** shell, boundary conditions, load, original, image, arbitrary constants, displacement, efforts, moments*

Рассмотрим замкнутую круговую цилиндрическую оболочку в общем случае анизотропии. Оболочка свободно оперта по торцам и находится под действием осесимметричной нагрузки, равномерно распределенной на части длины оболочки (1) (рис. 1):

$$q(\alpha) = \begin{cases} 0, & \text{при } 0 \leq \alpha < \tau; \\ q, & \text{при } \tau \leq \alpha \leq \tau + \alpha_1; \\ 0, & \text{при } \tau + \alpha_1 < \alpha \leq \alpha_0. \end{cases} \quad (1)$$

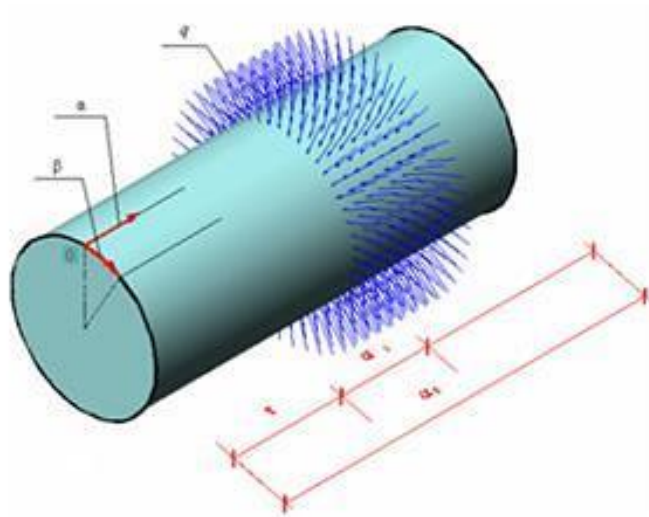


Рис. 1. Расчетная схема оболочки

Обозначения, положительные направления перемещений, усилий и моментов, допущения, дифференциальные зависимости приняты в соответствии с работой [1].

Разрешающее уравнение имеет вид

$$\frac{d^4 w}{d\alpha^4} + 2m \frac{d^2 w}{d\alpha^2} + n w = \frac{R^4}{D_{11}} q(\alpha) - \frac{R^3}{D_{11}} (c_{12} b_1 + c_{26} b_2), \quad (2)$$

где

$$m = 2 \frac{c_{16} (c_{11} c_{26} - c_{12} c_{16})}{c_{11} \omega_1};$$

$$n = \frac{\Omega_1}{c_{11} \omega_1} \cdot \frac{12 R^2}{h^2};$$

$$\Omega_1 = (c_{11} c_{22} - c_{12}^2) c_{66} + 2 c_{12} c_{16} c_{26} - c_{11} c_{26} - c_{11} c_{26}^2 - c_{22} c_{16}^2;$$

$$\omega_1 = c_{11} c_{66} - c_{16}^2;$$

$$D_{ik} = c_{ik} h^2 / 12.$$

Граничные условия при рассматриваемом способе опирания стержня имеют вид: при $\alpha = 0$ и $\alpha = \alpha_0$:

$$w = M_1 = T_1 = S_{12} = 0. \quad (3)$$

Граничные условия (3) будут удовлетворены, если положить $b_1 = 0$, $b_2 = 0$.

Для определения w применим операционное исчисление, связанное с преобразованием Лапласа [2].

Полагая $w(\alpha) \Leftrightarrow W(p)$ и учитывая граничные условия при $\alpha = 0$, по теореме дифференцирования оригинала [2] получаем

$$\begin{aligned} w'(\alpha) &\Leftrightarrow pW(p); \\ w''(\alpha) &\Leftrightarrow p^2W(p) - w'(0); \\ w'''(\alpha) &\Leftrightarrow p^3W(p) - pw'(0); \\ w^{IV}(\alpha) &\Leftrightarrow p^4W(p) - p^2w'(0) - w'''(0), \end{aligned} \quad (4)$$

где p – комплексный параметр;

$w'(0)$ и $w'''(0)$ – произвольные постоянные.

Изображение правой части уравнения (2) для рассматриваемой нагрузки (1) имеет вид

$$\frac{R^4}{D_{11}} q \frac{1 - e^{-p\alpha_1}}{p} e^{-p\tau}. \quad (5)$$

Переходя в уравнении (2) от оригиналов к изображениям (4), (5), получаем операторное уравнение:

$$\begin{aligned} p^4 W(p) - p^2 w'(0) - w'''(0) + 2mp^2W(p) - 2mw'(0) + nW(p) = \\ = \frac{R^4}{D_{11}} q \frac{1 - e^{-p\alpha_1}}{p} e^{-p\tau}. \end{aligned} \quad (6)$$

Из (6) находим:

$$\begin{aligned} W(p) = \frac{R^4}{D_{11}} q \frac{1 - e^{-p\alpha_1}}{p(p^4 + 2mp^2 + n)} e^{-p\tau} + \frac{p^2 + 2m}{p^4 + 2mp^2 + n} w'(0) + \\ + \frac{1}{p^4 + 2mp^2 + n} w'''(0). \end{aligned} \quad (7)$$

Переходя в выражении (7) от изображений к оригиналам [2, 3], получаем искомое решение:

$$\begin{aligned} w(\alpha) = \frac{R^4}{D_{11}} q \left\{ \left[\frac{1}{n} + \frac{1}{a(a-b)} ch \sqrt{a} (\alpha - \tau) - \frac{1}{b(a-b)} ch \sqrt{b} (\alpha - \tau) \right] \eta(\alpha - \tau) - \right. \\ \left. - \left[\frac{1}{n} + \frac{1}{a(a-b)} ch \sqrt{a} (\alpha - \tau - \alpha_1) - \frac{1}{b(a-b)} ch \sqrt{b} (\alpha - \tau - \alpha_1) \right] \eta(\alpha - \tau - \alpha_1) \right\} + \\ + \frac{1}{a-b} \left[\frac{a+2m}{\sqrt{a}} sh \sqrt{a} \alpha - \frac{b+2m}{\sqrt{b}} sh \sqrt{b} \alpha \right] w'(0) + \end{aligned}$$

$$+ \frac{1}{a-b} \left[\frac{1}{\sqrt{a}} sh \sqrt{a} \alpha - \frac{1}{\sqrt{b}} sh \sqrt{b} \alpha \right] w'''(0), \quad (8)$$

где

$$a = -m + \sqrt{m^2 - n};$$

$$b = -m - \sqrt{m^2 - n}.$$

Произвольные постоянные $w'(0)$ и $w'''(0)$ находим из граничных условий при $\alpha = \alpha_0$.

Окончательно имеем

$$w(\alpha) = \frac{R^4}{D_{11}} q \frac{1}{a-b} \left\{ \left[\frac{a-b}{n} + \frac{1}{a} ch \sqrt{a} (\alpha - \tau) - \frac{1}{b} ch \sqrt{b} (\alpha - \tau) \right] \eta(\alpha - \tau) - \right.$$

$$\left. - \left[\frac{a-b}{n} + \frac{1}{a} ch \sqrt{a} (\alpha - \tau - \alpha_1) - \frac{1}{b} ch \sqrt{b} (\alpha - \tau - \alpha_1) \right] \eta(\alpha - \tau - \alpha_1) + \right.$$

$$\left. + \frac{b}{n} \cdot A sh \sqrt{a} \alpha + \frac{a}{n} \cdot B sh \sqrt{b} \alpha \right\}, \quad (9)$$

где $\eta(\alpha - \tau)$ – единичная функция, которая при $\alpha \geq \tau$ равна 1 и при $\alpha < \tau$ равна 0;

$\eta(\alpha - \tau - \alpha_1)$ – единичная функция, которая при $\alpha > \tau + \alpha_1$ равна 1 и при $\alpha \leq \tau + \alpha_1$ равна 0;

$$A = - \frac{ch \sqrt{a} (\alpha_0 - \tau) - ch \sqrt{a} (\alpha_0 - \tau - \alpha_1)}{sh \sqrt{a} \alpha_0};$$

$$B = \frac{ch \sqrt{b} (\alpha_0 - \tau) - ch \sqrt{b} (\alpha_0 - \tau - \alpha_1)}{sh \sqrt{b} \alpha_0}.$$

Единичные функции $\eta(\alpha - \tau)$ и $\eta(\alpha - \tau - \alpha_1)$ приняты только для сокращения записи выражений и указывают на то, с какого значения координаты α появляется в выражении данное слагаемое.

Имея $w(\alpha)$, можно записать выражения для определения усилий и моментов [1].

Выражение (9) получено в общем виде. Оно позволяет рассчитать оболочку при любом положении участка нагружения по длине оболочки и при различных размерах участка нагружения (рис. 1).

Положив в выражении (9) $\tau = 0$, $\alpha_1 = \alpha_0$, получим решение для оболочки, когда нагрузка действует по всей длине оболочки:

$$w(\alpha) = \frac{R^4}{D_{11}} q \frac{1}{a-b} \left[\frac{a-b}{n} + \frac{1}{a} ch \sqrt{a} \alpha - \frac{1}{b} ch \sqrt{b} \alpha + \frac{b}{n} A_1 sh \sqrt{a} \alpha + \frac{a}{n} B_1 sh \sqrt{b} \alpha \right], \quad (10)$$

где

$$A_1 = \frac{1 - ch \sqrt{a} \alpha_0}{sh \sqrt{a} \alpha_0};$$

$$B_1 = -\frac{1 - ch \sqrt{b} \alpha_0}{sh \sqrt{b} \alpha_0}.$$

Выражение (9) позволяет получить решения для оболочки при действии различных осесимметричных нагрузок [4].

Предназначается для инженеров-проектировщиков, научных работников, аспирантов и студентов.

Список литературы

1. Амбарцумян С.А. Общая теория анизотропных оболочек / С.А. Амбарцумян. М.: Наука, 1974. 446 с.
2. Араманович И.Г. Функции комплексного переменного. Операционное исчисление. Теория устойчивости / И.Г. Араманович, Г.Л. Лунц, Л.Э. Эльсгольд. – М.: Наука, 1968. 416 с.
3. Бейтмен Г. Таблицы интегральных преобразований. Т. 1. Преобразования Фурье, Лапласа, Меллина / Г. Бейтмен, А. Эрдейи. М.: Наука, 1969. 343 с.
4. Шагивалеев К.Ф. Расчет на прочность замкнутой цилиндрической оболочки / К.Ф. Шагивалеев. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1991. 208 с.

УДК 624.04: 539.4

ПОЛУКРУГЛАЯ АРКА ПРИ ДЕЙСТВИИ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ

Шагивалеев Камиль Фатыхович,

Сурнина Елена Камилевна, Сурнин Дмитрий Аркадьевич

Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А., Россия,

e-mail: KFSHAG@yandex.ru, eksurnina@mail.ru, dasurnin98@mail.ru

***Аннотация.** Рассмотрена полукруглая арка с шарнирными креплениями по концам при действии ветровой нагрузки. Получены аналитические выражения для определения перемещений, усилий и моментов в любом сечении арки.*

***Ключевые слова:** арка, радиус, угловая координата, граничные условия, ветровая нагрузка, перемещение, усилие, момент, единичная функция*

SEMI-CIRCULAR ARCH UNDER THE ACTION OF THE WIND LOAD

**Shagivaleev Kamil' Fatykhovich, Surnina Elena Kamilevna,
Surnin Dmitrii Arkadievich**

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia,
e-mail: KFSHAG@yandex.ru, eksurnina@mail.ru, dasurnin98@mail.ru

Abstract. A semicircular arch with hinged fastenings at the ends under the action of a wind load is considered. Analytical expressions are obtained to determine displacements, forces and moments in any section of the arch.

Keywords: arch, radius, angular coordinate, boundary conditions, wind load, displacement, effort, moment, unit function

Рассмотрим полукруглую арку с шарнирными закреплениями по концам при действии ветровой нагрузки. Ветровая нагрузка на арку действует перпендикулярно поверхности арки. Эпюра ветрового давления принята в соответствии с СП [1] (рис. 1).

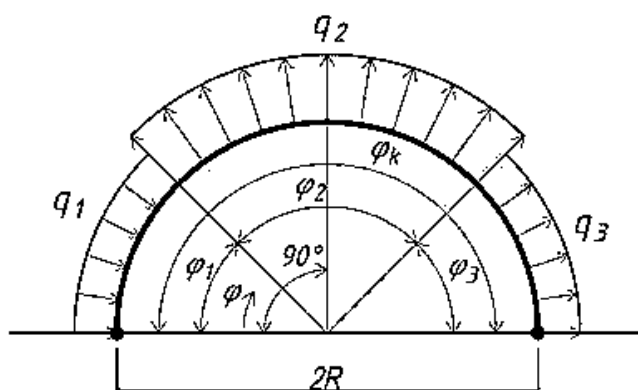


Рис. 1. Схема ветрового давления на поверхности арки

В настоящей работе обозначения, положительные направления перемещений, усилий и моментов, допущения, дифференциальные зависимости приняты в соответствии с работами [2, 3].

Используя решения (2.22)-(2.24), приведенные в работе [3], получим искомые выражения для определения перемещений, углов поворота, усилий и моментов:

$$\begin{aligned}
 v(\varphi) = & \frac{R^4}{4EI_1} \left\{ (2\varphi - 3\sin\varphi + \varphi\cos\varphi)\Omega_1 + \Omega_2\varphi\sin\varphi + (1 - \cos\varphi)\Omega_3 - \right. \\
 & - \left\langle 2(q_1 + q_2) [2(\varphi - \varphi_1) - 3\sin(\varphi - \varphi_1) + (\varphi - \varphi_1)\cos(\varphi - \varphi_1)] \right\rangle \eta(\varphi - \varphi_1) + \\
 & + \left\langle 2(q_2 - q_3) [2(\varphi - \varphi_1 - \varphi_2) - 3\sin(\varphi - \varphi_1 - \varphi_2) + (\varphi - \varphi_1 - \varphi_2)\cos(\varphi - \varphi_1 - \varphi_2)] \right\rangle \times \\
 & \times \eta(\varphi - \varphi_1 - \varphi_2) \left. \right\};
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
w(\varphi) &= \frac{R^4}{4EI_1} \left\{ (2 - 2\cos\varphi - \varphi\sin\varphi)\Omega_1 + \Omega_2 (\sin\varphi + \varphi\cos\varphi) + \Omega_3 \sin\varphi - \right. \\
&\quad - \langle 2(q_1 + q_2)[2 - 2\cos(\varphi - \varphi_1) - (\varphi - \varphi_1)\sin(\varphi - \varphi_1)] \rangle \eta(\varphi - \varphi_1) + \\
&\quad + \langle 2(q_2 - q_3)[2 - 2\cos(\varphi - \varphi_1 - \varphi_2) - (\varphi - \varphi_1 - \varphi_2)\sin(\varphi - \varphi_1 - \varphi_2)] \rangle \times \\
&\quad \quad \times \eta(\varphi - \varphi_1 - \varphi_2) \Big\}; \\
\mathfrak{S}_1(\varphi) &= \frac{1}{R} \left(\frac{dw}{d\varphi} + \upsilon \right) = \frac{R^3}{2EI_1} \left\{ (\varphi - \sin\varphi)\Omega_1 + \Omega_2 \cos\varphi + \frac{1}{2}\Omega_3 - \right. \\
&\quad - 2(q_1 + q_2)[\varphi - \varphi_1 - \sin(\varphi - \varphi_1)]\eta(\varphi - \varphi_1) + \\
&\quad + 2(q_2 - q_3)[\varphi - \varphi_1 - \varphi_2 - \sin(\varphi - \varphi_1 - \varphi_2)]\eta(\varphi - \varphi_1 - \varphi_2) \Big\}; \quad (1) \\
M_1(\varphi) &= -\frac{EI_1}{R} \frac{d\mathfrak{S}_1}{d\varphi} = -\frac{1}{2} R^2 \left\{ (1 - \cos\varphi)\Omega_1 - \Omega_2 \sin\varphi - \right. \\
&\quad - 2(q_1 + q_2)[1 - \cos(\varphi - \varphi_1)]\eta(\varphi - \varphi_1) + \\
&\quad + 2(q_2 - q_3)[1 - \cos(\varphi - \varphi_1 - \varphi_2)]\eta(\varphi - \varphi_1 - \varphi_2) \Big\}; \\
Q_1(\varphi) &= -\frac{1}{R} \frac{dM_1}{d\varphi} = R \left\{ 2\Omega_1 \sin\varphi - 2\Omega_2 \cos\varphi - \right. \\
&\quad - (q_1 + q_2)[\sin(\varphi - \varphi_1)]\eta(\varphi - \varphi_1) + \\
&\quad \left. (q_2 - q_3)[\sin(\varphi - \varphi_1 - \varphi_2)]\eta(\varphi - \varphi_1 - \varphi_2) \right\}; \\
N(\varphi) &= \frac{dQ_1}{d\varphi} = R \left\{ 2\Omega_1 \cos\varphi + 2\Omega_2 \sin\varphi - (q_1 + q_2)[\cos(\varphi - \varphi_1)]\eta(\varphi - \varphi_1) + \right. \\
&\quad \left. + 2(q_2 - q_3)[\cos(\varphi - \varphi_1 - \varphi_2)]\eta(\varphi - \varphi_1 - \varphi_2) \right\},
\end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned}
\Omega_1 &= q_1(2 - t_{17}) + q_2 t_{13} + q_{21} t_{21}; \\
\Omega_2 &= \frac{2}{\pi} (q_1 t_{20} + q_2 t_{16} + q_3 t_{24}); \\
\Omega_3 &= q_1 \left(\frac{\pi}{2} t_{17} - 3t_{18} + t_{19} - 2\varphi_1 \right) - \\
&\quad - q_2 \left(\frac{\pi}{2} t_{13} + 3t_{14} + t_{15} - 2\varphi_2 \right) - \\
&\quad - q_3 \left(\frac{\pi}{2} t_{21} + 3t_{22} + t_{23} - 2\varphi_3 \right); \\
t_{13} &= \cos\varphi_1 - \cos(\varphi_1 + \varphi_2); \\
t_{14} &= \sin\varphi_1 - \sin(\varphi_1 + \varphi_2); \\
t_{15} &= (\pi - \varphi_1) \cos\varphi_1 - (\pi - \varphi_1 - \varphi_2) \cos(\varphi_1 + \varphi_2);
\end{aligned}$$

$$t_{16} = (\pi - \varphi_1) \sin \varphi_1 - (\pi - \varphi_1 - \varphi_2) \sin (\varphi_1 + \varphi_2);$$

$$t_{17} = 1 - \cos \varphi_2;$$

$$t_{18} = \sin \varphi_2;$$

$$t_{19} = \pi - (\pi - \varphi_2) \cos \varphi_2;$$

$$t_{20} = (\pi - \varphi_2) \sin \varphi_2;$$

$$t_{21} = 1 + \cos (\varphi_1 + \varphi_2);$$

$$t_{22} = \sin (\varphi_1 + \varphi_2);$$

$$t_{23} = \varphi_3 \cos (\varphi_1 + \varphi_2);$$

$$t_{24} = \varphi_3 \sin (\varphi_1 + \varphi_2);$$

$\eta(\varphi - \varphi_1)$ – единичная функция, которая при $\varphi \geq \varphi_1$ равна 1 и при $\varphi < \varphi_1$ равна 0;

$\eta(\varphi - \varphi_1 - \varphi_2)$ – единичная функция, которая при $\varphi \geq \varphi_1 + \varphi_2$ равна 1 и при $\varphi < \varphi_1 + \varphi_2$ равна 0.

Единичные функции $\eta(\varphi - \varphi_1)$ и $\eta(\varphi - \varphi_1 - \varphi_2)$ приняты только для сокращения записи выражений и указывают на то, с какого значения координаты φ появляется в выражении данное слагаемое.

Значения q_1, q_2, q_3 определяются по СП [1] в зависимости от ветрового района.

Для инженеров-проектировщиков, научных работников, аспирантов и студентов.

Список литературы

1. СП 20.13330. 2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция. СНиП 2.01.07-85*. М.: 2016. – 105 с.
2. Прочность, устойчивость, колебания: Справочник. Т. 1. М.: Машиностроение, 1968. – 831 с.
3. Шагивалеев К.Ф. Расчет стержня кругового очертания: учеб. пособие / К.Ф. Шагивалеев, Е.К. Сурнина, Д.А. Сурнин. Саратов: Саратов. гос. тех. ун-т, 2018. 360 с.

**Секция 5. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СИСТЕМ ГАЗОТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ,
СТРОИТЕЛЬНОЙ КЛИМАТОТЕХНИКИ, ВОДОСНАБЖЕНИЯ
И ВОДООТВЕДЕНИЯ**

УДК 697.273.86

**СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДЕЛЕЙ
ИНФРАКРАСНЫХ ЭЛЕКТРООБОГРЕВАТЕЛЕЙ**

Веретенникова Марина Сергеевна, Кузнецов Сергей Сергеевич

Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А., Россия

e-mail: veretennikovams@gmail.com, st-kurator@mail.ru

Аннотация. Дан обзор на применение децентрализованных систем отопления на базе инфракрасных электрообогревателей, сравнение различных моделей.

Ключевые слова: инфракрасные обогреватели, децентрализованные системы отопления, конструкция, изоляторы, пластины, защитный кожух

**COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF MODELS
OF ELECTRIC INFRARED HEATERS**

Veretennikova Marina Sergeevna, Kuznetsov Sergei Sergeevich

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

e-mail: veretennikovams@gmail.com, st-kurator@mail.ru

Abstract. The report will provide an overview of the use of decentralized heating systems based on infrared electric heaters, comparison of various models.

Keywords: infrared heaters, decentralized heating systems, construction, insulators, plates, protective casing

Основной проблемой при эксплуатации систем транспортировки тепловой энергии являются тепловые потери, а строительные и эксплуатационные затраты для данных систем превышает затраты по сравнению с децентрализованными системами. Актуальность темы обусловлена необходимостью оптимизации принципов, методов, способов и средств теплоснабжения как жилых, так и производственных помещений. В настоящее время около 90 % вырабатываемой тепловой энергии в жилых, общественных и промышленных зданиях создается котельными установками водяного или парового отопления [1]. Применение схемы: котельная установка – тепловые сети – отопительные приборы приводит к тому, что часть выработанной тепловой энергии теряется как в самой теплогенерирующей установке, так и в тепловых сетях из-за плохой теплоизоляции. Необходи-

мо также рассмотреть экологическую сторону вопроса: теплоисточниками в этих установках являются каменный уголь, мазут, газ и другие невозполняемые источники энергии, которые к тому же пагубно влияют на экологию. Системы управления температурой в помещениях с водяным отоплением не позволяют обеспечить стабильность температуры, они сложны и имеют высокую стоимость [8].

Применение систем децентрализованного отопления позволит снизить тепловые потери в системе, обеспечит потребителя возможностью индивидуального управления системой, а также приведет к снижению нерационального использования теплоисточников. Отдаленные потребители, которые из-за больших расстояний от ТЭЦ не могут быть охвачены централизованным теплоснабжением, могут применить децентрализованные системы, чтобы иметь эффективное теплоснабжение, отвечающее современному техническому уровню и комфортности. Подключение к тепловым сетям и централизованной системе отопления отдельных строений и помещений с малым потреблением тепловой энергии не целесообразно по причине высоких затрат.

В этих условиях применение систем децентрализованного лучистого электрического отопления радиационными инфракрасными (ИК) панелями, снабженными наиболее простыми регулирующими установками, позволит значительно снизить расход энергетических ресурсов.

Классическая модель инфракрасного электрообогревателя, состоит из корпуса, в котором на жестком основании закреплены элементы инфракрасного излучения. Между элементами излучения и задней стенкой корпуса установлены отражатель и изолирующий слой. Основание состоит из продольных лонжеронов таврового сечения, жестко соединенных между собой поперечинами. Элементы инфракрасного излучения закреплены на отогнутых держателях, а отражатель выполнен из гибкого листа из металлического сплава, упруго вставленного в надрезы на нижних полках лонжеронов.

Недостатками данного устройства являются: недостаточная прочность крепления нагревающих элементов, а также необходимость установки дополнительного отражателя для увеличения КПД устройства.

Модернизация классической модели инфракрасного обогревателя позволит устранить недостатки описанного устройства, а также увеличить теплоотдачу обогревателя за счет изменения конструкции без ущерба для основной функции устройства – обогрева.

Обогреватель состоит из следующих элементов: защитный кожух (1), опорная стойка (2), электронагревающий элемент (3), имеющий питание от электрической сети (4), который содержит четыре отдельных излучающих пластины (5). Каждая пластина состоит из изолятора и нагревателя, установка пластин происходит под углом 5-10° относительно вертикальной оси крепления пластин. Пластины и изоляторы крепятся на два держателя (6),

установленных параллельно друг другу. Изолятор выполнен из слюды и имеет слоистую структуру. Внутренняя поверхность кожуха покрыта теплоаккумулирующим полимерным покрытием, а передняя стенка кожуха имеет вентиляционные отверстия для защиты от локального перегрева. Конструкция системы автоматизации – регулятор температуры (7) для каждой установки, датчик температуры в помещении, таймер и блок управления.

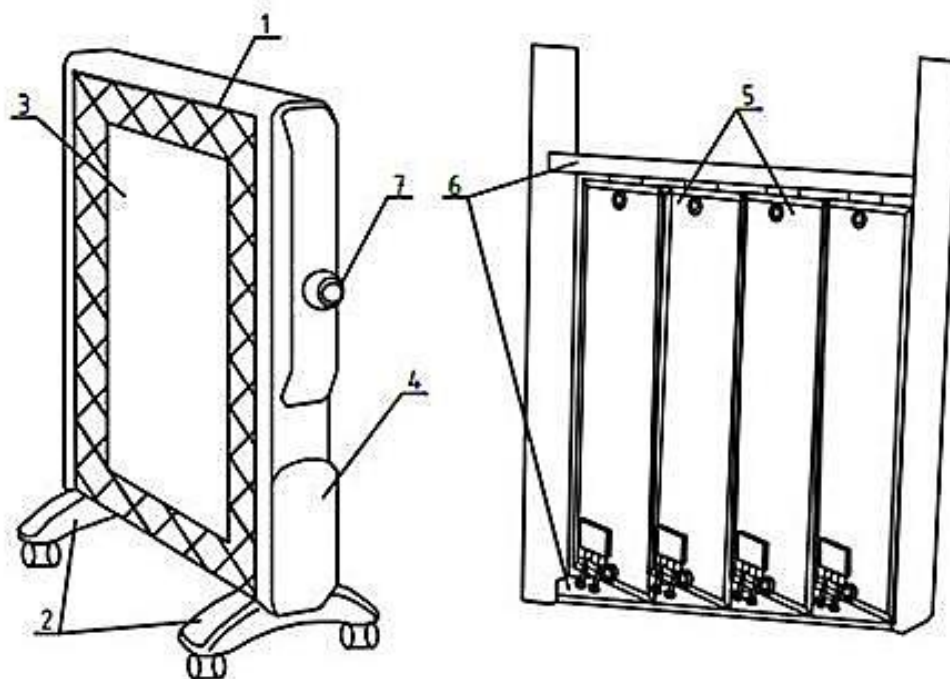


Рис. 1. Общий вид инфракрасного обогревателя и нагревательного элемента

Применение изолятора пластин из слюды, нанесенной в несколько слоев и нагревателя изготовленного из металла, имеющего высокую теплопроводность, позволят повысить теплоотдачу прибора и повысить его КПД.

Данный обогреватель за счет конструкции имеет небольшой вес и размеры (толщина варьируется в зависимости от мощности от 50 до 80 мм), что делает его мобильным при перемещении и удобным в использовании.

Принцип действия устройства: при подключении обогревателя к электросети происходит нагрев излучающих пластин электронагревающего элемента до рабочей температуры, которые начинают испускать в помещение лучи инфракрасного спектра. Инфракрасные лучи нагревают помещение по принципу лучистого отопления, практически беспрепятственно проходя через воздух и разогревая поверхность предметов, находящихся в зоне их действия: стены, полы, мебель и пр. Выбрав необходи-

мые параметры на встроенном терморегуляторе и таймере, добиваются комфортной температуры в помещении в любой период времени.

Устройство возможно использовать не только в закрытых помещениях, но и на открытых площадках (террасах, верандах, летних кафе), а также в качестве элемента системы антиобледенения на лестничных площадках, в подъездах и пр.

Технический результат от модернизации модели заключается в повышении эксплуатационных характеристик обогревателя при одновременном повышении энергосбережения в процессе его использования за счет нанесения композитного покрытия на излучающий элемент.

Обслуживание электрообогревателей не требует специальной подготовки пользователей и заключается в содержании электрообогревателя в чистоте и сохранности.

Заявляемый электрообогреватель, применяемый для основного или дополнительного обогрева помещений, выполнен из экологически чистых материалов, пожаробезопасен, стойкий к механическим повреждениям, не способствует накоплению бытовой пыли. Его конструкция проста в изготовлении и сборке, обеспечивает простоту и удобство в эксплуатации.

Выводы

Модернизация классической модели инфракрасного обогревателя позволит повысить КПД прибора и расширить область его применения. Использование в конструкции обогревателя защитного кожуха, покрытого теплоаккумулирующим полимерным покрытием, слоистых изоляторов из слюды позволит снизить электропотребление прибора, повысив при этом его теплоотдачу.

Вентиляционные отверстия в передней стенке обогревателя защитят прибор от локального перегрева, а система автоматизации позволит добиться следующих результатов:

1. Малое электропотребление (снижение достигает 20-30 % по сравнению с обычными обогревателями, снабженными встроенным термостатом).
2. Высокая надежность (простота конструкции, полная заводская готовность).
3. Простота обслуживания, организация системы при пусконаладке системы.
4. Прибор не осушивает воздух, применение инфракрасного обогрева позволяет избежать поднятие и перенос пыли по помещению.
5. Достижение оптимальных параметров воздуха в максимально короткие сроки.
6. Организация недельного режима работы, работа по таймеру.
7. Универсальность, возможность применения прибора от жилых помещений до производственных зданий.

Список литературы

1. Мачкаши А. Лучистое отопление / А. Мачкаши, Л. Банхиди; под ред. В.Н. Богословского и Л.М. Махова [пер. с венгерского В.М. Беляева]. Москва: Стройиздат, 1985. 464 с.
2. Палагин А.В., Корепанов Е.В. Управление системой тепло-холодоснабжения здания на альтернативных источниках энергии // Интеллектуальные системы в производстве. 2015. № 1. С. 152-156.
3. Сидоров Ю.П., Толщина Е.Ю. Определение допустимой высоты подвеса инфракрасных излучателей в зависимости от их температуры // Теория и практика современной науки: материалы X Международной научно-практической конференции, г. Москва, 27-28 июня 2013 г. / Науч.-инф. издат. центр «Институт стратегических исследований». М.: Спецкнига, 2013. – 420 с.
4. Троицкий А. Энергосбережение: возможности и перспективы / Экономист. 1994. № 2.
5. Горбунова Н.А., Гринько Е.А., Корепанов Е.В. Динамика и причины повреждения сетей теплоснабжения г. Ижевска // В сборнике: Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке: сборник материалов научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых / отв. за вып. Ю.В. Турыгин. Ижевск: Изд-во ИЖГТУ, 2011. С. 97-102.
6. Гарькавый К.А. Анализ эффективности микроклимата помещения / К.А. Гарькавый, С.Н. Бегдай // Энергосбережение и водоподготовка. 2006. № 6. С 76-77.
7. Видиборец Н.М. Панельные трубчатые излучатели для систем радиационного отопления и охлаждения // Научно-технический сборник: КНУСА, 2011. Вып. № 11. С. 37-42.
8. Богуславский Л.Д. и др. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: справ. пособие. М.: Стройиздат, 1990. 183 с.
9. Бухмиров В.В. Алгоритм расчет систем лучистого отопления помещений / В.В. Бухмиров, С.А. Крупенников, Ю.С. Солнышкова // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2010. Вып. № 4. С. 23-25.
10. Варфоломеев Ю.М. Отопление и тепловые сети: учеб. / Ю.М. Варфоломеев, О.Я. Кокорин. М.: ИНФРА-М, 2006. С. 173-177, 321-341.

УДК 628.16

МЕТОД УПАРИВАНИЯ КАК ПРОСТОЙ СПОСОБ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ОМАГНИЧЕННОСТИ ВОДЫ

Калякин Александр Михайлович,

Калякина Надежда Александровна, Сауткина Татьяна Николаевна

Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А., Россия

e-mail: k159-9@mail.ru, nad79@yandex.ru, angelanddiman@mail.ru

***Аннотация.** Изложен вариант реализации метода упаривания в качестве анализа омагничивания вод. В результате опытов подтверждена малая эффективность химических способов детектирования омагничивания.*

***Ключевые слова:** вода, источник, примеси, омагничивание, упаривание, кипячение, метод детектирования*

EVAPORATION METHOD AS A SIMPLE METHOD FOR DETECTING THE MAGNETICITY OF WATER

Kalyakin Alexander Mihaylovich,
Kalyakina Nadehzda Alexandrovna Sautkina Tatyana Nikolaevna
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia
e-mail: k159-9@mail.ru, nad79@yandex.ru, angelanddiman@mail.ru

***Abstract.** A variant of the evaporation method implementation as an analysis of water magnetization is presented. As a result of the experiments, the low efficiency of chemical methods for detecting magnetization was confirmed.*

***Keywords:** water, source, impurities, magnetization, evaporation, boiling, detection method*

Известно, что при воздействии магнитным полем на воду, содержащую растворенные соли, она приобретает новые свойства, часть которых давно известны и используются [1]. Достаточно полные обзоры литературы по способам получения, индикации и применению «омагниченной» воды приведены в частности в [1-3]. Необходимо заметить, что магнитных свойств при омагничивании вода не приобретает, и в дальнейшем будем определять воздействие магнитного поля на воду как омагничивание, хотя этот термин неточный.

При создании и испытании установок для омагничивания, а также для изучения свойств омагниченной воды необходимо быть уверенным, что вода отличается от неомагниченной. Для этой цели служат методы детектирования ее свойств; одним из таких методов является метод упаривания.

Метод упаривания состоит в том, что омагниченную воду и контрольный образец неомагниченной воды подвергают кипячению в одинаковых условиях. В результате на поверхностях, ограничивающих сосуд (и на специальных поверхностях внутри кипящего объема), в образце с омагниченной водой осаждается значительно меньше накипи, чем в контрольном образце; т. е. в омагниченной воде частицы остаются в объеме в виде нерастворимых примесей. Аппараты и приемы в методе упаривания изложены, например [3-5, 7].

В данной работе изложена простая методика, пригодная для использования в учебных лабораториях студентами и в домашних условиях. Для реализации метода в стеклянных химических конусных стаканах объемом 250 мл омагниченная вода и контрольный образец объемом 200 мл кипятились в течение 20 минут при одинаковом тепловом режиме (в конце кипячения объем составлял 125 мл).

Опыты проводились с водой из городской водопроводной сети и с водой, взятой из родника «Белый ключ» в районе с. Усовка Саратовской области. Омагничивание проводилось на установке, состоящей из

стеклянных трубок диаметром 0,9 см и общей длиной 2,5 метра, проходящих внутри восьми электромагнитов в виде катушек и через зазор внутри двух постоянных магнитов. Средняя величина индукции во всех видах магнитов составляла около 200 мТл. Средняя скорость жидкости в трубке при омагничивании составила 0,9 м/с, температура воды в опытах от 18 до 21° С. Конструкция установки позволяла изменять среднюю скорость в пределах от 0,1 м/с до 2,0 м/с; была возможность изменять также напряженность магнитного поля во всех катушках – электромагнитах.

В опытах с водой из городской сети водоснабжения эффект омагничивания проявлялся очень слабо, поэтому в дальнейшем использовалась родниковая вода, содержащая большее количество растворимых солей.

В конце каждого эксперимента вода, оставшаяся после кипячения в стаканах, изучалась на предмет содержания твердых микрочастиц накипи в объеме.

Всего было проведено 9 опытов для установления повторяемости. Во всех опытах, кроме одного, частиц внутри объема в омагниченной воде было во много раз больше, а на стенках стакана в омагниченных образцах следов накипи было значительно меньше, чем в контрольных.

Таким образом, метод упаривания является качественным детектором, т. е. качественно фиксирующим факт взаимодействия воды с магнитным полем.

Положительные черты и недостатки метода упаривания:

к положительным качествам относятся:

1. Надежность способа.
2. Простота реализации.
3. Не требуется никаких приборов и специальной подготовки.

К недостаткам способа следует отнести:

1. Длительное время его исполнения (порядка 15-20 мин).
2. Результат характеризует образец лишь с качественной стороны (несмотря на разработку специальных приборов) [3].
3. Для выполнения анализа необходим объем омагниченного образца 150 мл и более.

Используя тот факт, что метод упаривания дает ответ – омагничена вода или нет, в случае, когда результат положительный были исследованы некоторые другие способы детектирования, имеющие пока проблемный характер. В частности, они изложены и рекомендованы в [3, 6]. Основой всех этих способов является добавление некоторых химических веществ к контрольному образцу и образцу омагниченной воды сразу после омагничивания. При этом предполагается разная реакция раствора в этих образцах, что, по мнению авторов, является фактом омагничивания.

Химические вещества следующие:

1. Йодистый калий *KI*.
2. Бромистый калий *KBr*.

3. Щелочь KOH .
4. Раствор алюминиевого коагулянта $Al_2(SO_4)_3$.
5. Раствор титанового коагулянта.

Все эти вещества участвуют в виде концентрированных растворов в дистиллированной воде. В наших опытах ни одно из этих веществ не дало положительного результата, т. е. контрольный образец и омагниченный не изменились ни цветом, ни видом.

Очевидно, что применение различных химических соединений как индикаторов омагничивания будет иметь смысл только до кипячения; это сделает процесс детектирования простым и коротким по времени.

Метод упаривания был применен к воде из другого подземного источника, при взвешивании сухой остаток составлял 1,8 г/л. Были получены следующие результаты:

1. Накипь на стенках и частицы внутри объема после кипячения были одинаковыми в контрольном образце и в образце после омагничивания.
2. В контрольном образце после кипячения и после добавления титанового коагулянта выпал осадок; его не было после аналогичных операций в омагниченном образце.

Эти результаты подтверждают общепринятое мнение о том, что омагничивание и его детектирование являются еще плохо изученными процессами.

Выводы

1. Метод упаривания может служить качественным методом, гарантировавшим детектирование факта омагничивания, если оно имело место.
2. С помощью изложенного метода возможно вести поиск других качественных методов.
3. Изложенный в данной работе метод возможно рекомендовать к применению в качестве лабораторной работы студентов-энергетиков.

Список литературы

1. Классен В.И. Омагничивание водных систем. М.: Химия, 1982. 296 с.
2. Коптев А.П., Морозов А.П., Семенец Е.Г. Системы водоподготовки промышленных предприятий. Способы активации водных растворов: учеб. пособие. Магнитогорск: МГТУ, 2002. 76 с.
3. Стукагов П.С., Васильев Е.В., Глебов Н.А. Магнитная обработка воды. Л.: Судостроение, 1969. 192 с.
4. Толочкова И.С.. Предварительные результаты по определению степени накипеобразования / И.С. Толочкова, Е.В. Чеснокова, Т.Н. Сауткина // Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте 2013: сборник научных трудов SWorld: материалы междунар. науч.-практ. конф., г. Одесса, 17-26 дек. 2013 г. Одесса, 2013. Т. 35: Философия и филология, искусствоведение архитектура и строительство. С. 49-50.
5. Калякин А.М. Замечания к технике применения метода упаривания / А.М. Калякин, Е.В. Чеснокова, Н.Н. Береда // Современные проблемы и пути их решения в

науке, транспорте, производстве и образовании 2014: сборник научных трудов SWorld: материалы междунар. науч.-практ. конф. Т. 16: Искусствоведение, архитектура и строительство, № 2. Одесса, 17-28 июня 2014 г. Одесса, 2014. С. 62-64.

6. Сокольский Ю.М. Омагниченная вода: правда и вымысел. Л.: Химия, 1990. 144 с.

7. Толочкова И.С. Анализ устройств и методик, реализующих способ упаривания при детектировании омагниченности воды / И.С. Толочкова, Е.В. Чеснокова // Ресурсо- и энергоэффективные технологии в строительном комплексе региона: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. / СГТУ. Саратов, 2014. С. 201-204. Библиогр.: с. 204 (5 назв.). – Имеется электронный аналог печатного издания.

УДК 621.642.03:662.767.4

ОБОСНОВАНИЕ МИНИМАЛЬНОГО УРОВНЯ ЗАПОЛНЕНИЯ РЕЗЕРВУАРА БУТАНОМ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НЕОБХОДИМОГО ГАЗОПОТРЕБЛЕНИЯ

Осипова Наталия Николаевна, Орлова Юлия Александровна

Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А., Россия

e-mail: osnat75@mail.ru, orlovaaaaa1998@gmail.com

Аннотация. В статье представлены результаты исследований по определению минимального уровня заполнения резервуаров бутаном для обеспечения естественной регазификации продукта в расходной емкости при газоснабжении потребителей, определено количество годовых заправок и продолжительность эксплуатации между соседними заправками.

Ключевые слова: бутан, подземный резервуар, уровень заполнения, количество заправок

RATIONALE FOR THE MINIMUM LEVEL OF FILLING THE TANK WITH BUTANE TO ENSURE THE NECESSARY GAS CONSUMPTION

Osipova Nataliya Nikolaevna, Orlova Yuliya Aleksandrovna

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia,

e-mail: osnat75@mail.ru, orlovaaaaa1998@gmail.com

Abstract. The article presents the results of studies to determine the minimum filling level of tanks with butane to ensure the natural regasification of the product in the supply tank when supplying gas to consumers, the number of annual fillings and the duration of operation between neighboring fillings are determined.

Keywords: butane, underground tank, filling level, number of gas stations

Для обеспечения бесперебойного снабжения газовым топливом объектов автономного газоснабжения, необходимо знать продолжительность эксплуатации подземного резервуара между очередными заправками. Специфи-

ка работы автономных систем в удаленных районах, гористой местности и расположения населенных пунктов на значительных расстояниях от основных транспортных магистралей, обуславливает необходимость своевременной заявки на заполнение резервуаров бутаном. Для разработки рекомендаций по определению количества годовых заправок и продолжительности эксплуатации между соседними заправками необходимо провести дополнительные исследования.

Для определения необходимого минимального уровня заполнения резервуара жидкой фазой газа ϕ_{\min} при его эксплуатации в режиме естественной регазификации были проведены соответствующие расчеты. В расчетах использовались следующие исходные данные:

1. Компонентный состав поставляемого газа в резервуаре: бутан.
2. Минимальное давление паровой фазы в резервуаре $P_{\text{рез}} = 0,17$ МПа (изб).
3. Объекты газоснабжения – жилые здания площадью 64; 100; 256 м².
4. Климатическая зона эксплуатации – умеренно-теплая (г. Краснодар), умеренно-холодная (г. Воронеж) и холодная зона (г. Иркутск).
5. Потребление газа: пищеприготовление; пищеприготовление, горячее водоснабжение и отопление.
6. Геометрический объем резервуаров $V_p = 1,0$ м³; 1,65 м³; 2,5 м³; 5 м³.

Значения потребления газа для зданий принимались по [1] с учетом состава газозадушной смеси с соответствующим содержанием бутана. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Расчет минимального уровня заполнения резервуаров бутаном для обеспечения необходимого уровня газопотребления при естественной регазификации жидкой фазы газа

Направление использования бутана в жилых зданиях		Минимальное заполнение резервуара ϕ_{\min} , %, при его объеме V_p , м ³			
		1	1,65	2,5	5
умеренно-теплая климатическая зона эксплуатации					
Пищеприготовление		19	11	10	10
Пищеприготовление, горячее водоснабжение и отопление с площадью здания, м ²	64	89	51	33	19
	100	–	66	42	24,5
	256	–	–	73	42,5
умеренно-холодная климатическая зона эксплуатации					
Пищеприготовление		21	12	10	10
Пищеприготовление, горячее водоснабжение и отопление с площадью здания, м ²	64	–	73	47	27
	100	–	89	58	33,5
	256	–	–	–	58
холодная климатическая зона эксплуатации					
Пищеприготовление		29	17	10	10
Пищеприготовление, горячее водоснабжение и отопление с площадью здания, м ²	64	–	–	79	45,5
	100	–	–	–	56
	256	–	–	–	–

Как видно из табл. 1, в холодной и умеренно-холодной климатических зонах для зданий площадью более 100 м² рекомендуется только искусственная регазификация бутана в расходных емкостях. Исключение составляет использование резервуаров объемом 5 м³ в умеренно-холодной климатической зоне эксплуатации при условии высокого минимального уровня заполнения резервуара бутаном – 58 %, что неприемлемо по экономическим соображениям.

Необходимо также отметить, что в холодной зоне при температуре окружающего грунтового массива -4° С [2] давление паров бутана составит 0,0886 МПа (изб.), что менее требуемого давления 0,17 МПа (изб.) для нормальной работы регулирующего оборудования. Таким образом, для применения бутана в холодной зоне рекомендуется искусственная регазификация жидкой фазы.

Резервуары объемом 1,0 м³ обеспечивают необходимое количество паровой фазы только для целей пищеприготовления во всех климатических зонах при наличии минимального уровня заполнения от 19 до 29 %, что с учетом значительной металлоемкости на единицу испаренного газа исключает резервуары указанного объема из рекомендаций по комплектации систем с естественной регазификацией жидкой бутановой фракции.

В целом системы газоснабжения на бутане требуют значительного минимального уровня заполнения резервуаров, что обеспечивает высокую эксплуатационную стоимость указанных систем.

Таким образом, для обеспечения испарения бутана, необходимо в зависимости от газопотребления объекта включать в эксплуатацию искусственное испарение жидкой фазы, при этом максимально используя естественную испарительную способность самим расходных резервуаров.

Принимая во внимание, что при искусственной регазификации газа минимальный уровень заполнения резервуара, по рекомендации производителей газового оборудования ограничивается 15 %, необходимо обосновать периодичность заправок резервуаров бутаном при использовании только с естественной регазификацией продукта и при использовании по смешанной схеме с учетом искусственной регазификации [3, 4].

Годовое количество заправок резервуара сжиженным газом определяется по формуле

$$n = \frac{0,53G_{\text{ГВС}}}{V_p \cdot (\varphi_n - \varphi_{\text{min}}) \cdot \rho_b} \quad (1)$$

где $G_{\text{ГВС}}$ – годовой расход газозвушной смеси потребителем, кг/год;

V_p – объем резервуара, м³;

φ_n – начальный уровень заполнения резервуара бутаном, [5];

φ_{min} – минимальный уровень заполнения резервуара бутаном перед очередной заправкой;

ρ_6 – плотность жидкой фазы бутана, кг/м³.

Период эксплуатации резервуара между соседними заправками, Z, сут, составляет

$$z = \frac{365}{n} \quad (2)$$

Необходимо отметить, что максимальное потребление газозвдушной смеси происходит в отопительный период в связи с необходимостью отопления жилых зданий. Минимальное потребление газозвдушной смеси наблюдается в теплый период года за счет снижения потребности на горячее водоснабжение и изменения рациона питания населения. Таким образом, при определении количества заправок необходимо ориентироваться на наиболее неблагоприятную ситуацию с максимальным потреблением газозвдушной смеси в холодный период года с учетом сезонной неравномерности потребления $K_{сз}$.

Минимальная продолжительность эксплуатации резервуара между соседними заправками в условиях холодного периода времени года, сут, составляет

$$z_{\min} = \frac{z}{K_{сз}} = \frac{365}{n \cdot K_{сз}} \quad (3)$$

где $K_{сз}$ – коэффициент суточной неравномерности газопотребления жилыми домами, оборудованными газовыми плитами (плитами и водонагревателями) составляет $K_{сз} = 1,5$. При наличии отопления коэффициент сезонной неравномерности газопотребления $K_{сз} = 1,85$.

Результаты соответствующих расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Продолжительность эксплуатации и количество заправок в годовом цикле эксплуатации резервуаров в зависимом от объема сосуде

Продолжительность и количество заправок	Направление использования бутана в жилых зданиях	Объем резервуара, V _p , м ³		
		1,65	2,5	5
умеренно-теплая климатическая зона эксплуатации				
годовое количество заправок резервуара n, 1/год	Пищеприготовление	0,19/0,19	0,13/0,13	0,063/0,063
	Пищеприготовление, горячее водоснабжение и отопление с площадью здания 64 м ²	2,41/1,24	1,08/0,82	0,43/0,41
	100 м ²	4,86/1,51	1,57/1	0,57/0,5
	256 м ²	-/2,76	8,43/1,82	1,45/0,91

Продолжительность и количество заливок	Направление использования бутана в жилых зданиях	Объем резервуара, V _p , м ³		
		1,65	2,5	5
продолжительность эксплуатации резервуара между соседними заливками z, сут	Пищеприготовление	1927,14/ 1927,14	2807,69/ 2807,69	5793,65/ 5793,65
	Пищеприготовление, горячее водоснабжение и отопление с площадью здания 64 м ²	151,45/ 294,35	337,96/ 445,12	845,3/ 893,73
	100 м ²	75,1/241,72	232,48/ 365	640,35/730
	256 м ²	-/132,25	43,3/ 200,55	251,72/ 401,1
минимальная продолжительность эксплуатации резервуара между соседними заливками z _{min} , сут	Пищеприготовление	1284,76/ 1284,76	1871,79/ 1871,79	3862,43/ 3862,43
	Пищеприготовление, горячее водоснабжение и отопление с площадью здания 64 м ²	81,87/159,1 1	182,68/ 240,61	456,92/ 483,1
	100 м ²	40,6/130,66	125,67/ 197,3	346,14/ 394,59
	256 м ²	-/71,48	23,4/ 108,41	136,07/ 216,81
холодная климатическая зона эксплуатации				
годовое количество заливок резервуара n, 1/год	Пищеприготовление	0,2/0,19	0,13/0,13	0,063/ 0,063
	Пищеприготовление, горячее водоснабжение и отопление с площадью здания 64 м ²	-/2,59	12,67/1,71	1,46/0,86
	100 м ²	-/3,17	-/2,09	2,34/1,05
	256 м ²	-/5,15	-/3,4	-/1,7
продолжительность эксплуатации резервуара между соседними заливками z, сут	Пищеприготовление	1871,79/ 1931,22	2807,69/ 2807,69	5793,65/ 5793,65
	Пищеприготовление, горячее водоснабжение и отопление с площадью здания 64 м ²	-/140,93	28,81/ 213,45	250/ 424,42
	100 м ²	-/115,14	-/174,64	155,98/ 347,62
	256 м ²	-/70,87	-/107,35	-/214,71

Продолжительность и количество заправок	Направление использования бутана в жилых зданиях	Объем резервуара, V_p , м ³		
		1,65	2,5	5
минимальная продолжительность эксплуатации резервуара между соседними заправками Z_{\min} , сут	Пищеприготовление	1247,86/ 1287,48	1871,79/ 1871,79	3862,43/ 3862,43
	Пищеприготовление, горячее водоснабжение и отопление с площадью здания 64 м ²	-/76,18	15,57/ 115,38	135,14/ 229,42
	100 м ²	-/62,24	-/94,4	84,32/ 187,9
	256 м ²	-/38,31	-/58,03	-/116,06

Примечание к таблице 2: в числителе заполнение резервуара и периодичность заправок при естественной регазификации бутана; в знаменателе – при искусственной регазификации бутана.

Как показали расчеты, сочетание естественной и искусственной регазификации обеспечивает наиболее продолжительную эксплуатацию резервуаров, при этом климатическая зона эксплуатации и объем резервуара оказывают значительное влияние на период между соседними заправками газом. Увеличение площади здания приводит к уменьшению периода между соседними заправками.

При этом газоснабжение зданий площадью более 100 м² при использовании газа на все коммунально-бытовые нужды должно обеспечиваться только искусственной регазификацией продукта. Необходимость высокого остаточного уровня при эксплуатации резервуаров 1,65 м³ и 2,5 м³ в холодной климатической зоне при использовании естественной регазификации продукта приводит к количеству заправок, которые являются экономически нецелесообразными и свидетельствуют о необходимости перевода процесса регазификации в искусственный режим.

Список литературы

1. Osipova N.N., Grishin B.M., Kultiaev S.G. Mathematical modeling of the annual consumption of gas-air mixture on the basis of technical butane for household needs of individual residential buildings / Published 1 February 2020 • Published under license by IOP Publishing Ltd IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 753, Chapter 1. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/753/2/022015>.

2. Стаскевич Н.Л. Справочник по сжиженным углеводородным газам / Н.Л. Стаскевич, Д.Я. Вигдорчик. Л.: Недра, 1986. 543 с.

3. Автоматизация технологических процессов ЗАО «Росприбор» [Электронный ресурс] URL: <https://www.rospribor.com/questions/izmerenie-urovnya-v-rezervuarah/?yclid=3021990333707476200>.

4. ГАЗОВИК – Оборудование для сжиженных углеводородных газов [Электронный ресурс] URL: <https://gazovik-lpg.ru/cat/metrological/urov/ruptam/>.

5. Осипова Н.Н. Обоснование применения бутана для газификации объектов / Н.Н. Осипова, С.Г. Культяев // Научный журнал строительства и архитектуры. 2019. № 4 (56). С. 38-45. DOI: 10.25987/VSTU.2019.56.4.003.

УДК 620.9;553.981

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЖИЖЕННЫХ ГАЗОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Первалов Сергей Дмитриевич

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., Россия
e-mail: ya.yaskay@gmail.com*

***Аннотация.** Ситуация на мировом рынке энергетических ресурсов существенно изменилась под влиянием пандемии. Определение оптимальной альтернативы природному газу представляется в виде использования для энергообеспечения различных категорий потребителей сжиженного природного и сжиженного углеводородного газов. В статье представлен анализ конкурентоспособности указанных энергоносителей, их преимущественные стороны и имеющиеся недостатки.*

***Ключевые слова:** сжиженный природный газ, сжиженный углеводородный газ, сетевой природный газ*

RESEARCH OF LNG PRODUCTION RELEVANCE

Perevalov Sergey Dmitrievich

*Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia
e-mail: ya.yaskay@gmail.com*

***Abstract.** The situation in the global energy market has changed significantly under the influence of the pandemic. Determination of the optimal alternative to natural gas is presented in the form of use for energy supply of various categories of consumers of liquefied natural and liquefied hydrocarbon gases. The article presents an analysis of the competitiveness of these energy carriers, their advantages and disadvantages.*

***Keywords:** liquefied natural gas, liquefied petroleum gas, natural gas*

Общеизвестно, что природный газ, обладая очевидными преимуществами по сравнению, например, с твердыми видами топлива и нефтью, является одним из основных видов топлива для генерации электроэнергии, применения в жилищно-коммунальном хозяйстве. Помимо этого, компоненты природного газа также являются ценным хими-

ческим сырьем для производства топлив, масел, пластических масс, удобрений и др. [1-3].

На данный момент стоимость газа в России превысила стоимость в Европе даже без учета 30-процентной экспортной пошлины и расходов на транспортировку. Генезом данного события послужил коронавирус, породивший снижение спроса. Более того, с 2022 года Польша намерена прекратить закупку природного газа (ПГ) у России, а закупать сжиженный природный газ (СПГ) у Норвегии.

Украина также планирует удовлетворить потребность в газе при помощи американского СПГ. Также было отодвинуто строительство газопровода «Северный поток-2» на неопределенный срок, а между тем потребление СПГ в мире выросло в 3,5 раза в 2019 году. СПГ экспортируют 18 государств, в число которых входит и Россия, а закупку СПГ осуществляют 42 страны. Наиболее сильный рост потребления СПГ прогнозируется для Китая в связи с постепенным переходом с каменного угля на СПГ и Индии. Также в мире непрерывно растут обеспокоенность проблемами окружающей среды. В сфере строительства ужесточаются нормы и правила, связанные с загрязнением окружающей среды, растет перечень объектов, подлежащих обязательному прохождению Государственной экологической экспертизы.

В качестве альтернативных вариантов природному газу рассмотрим использование для покрытия всех нужд (хозяйственно-бытовых, коммунальных, производственных и др.) различных категорий потребителей сжиженного природного и сжиженных углеводородных газов (СУГ).

В табл. 1 приведены сравнительные характеристики рассматриваемых вариантов энергоносителей.

Таблица 1

Сравнительные характеристики энергоносителей

Величина	Размерность	ПГ	СУГ	СПГ
Удельная теплота сгорания	МДж/кг	43,56	45,58	43,56
Плотность при н.у.	кг/м ³	0,73	540	420
КПД котельного оборудования	%	92	92	92
Для выработки 1 Гкал необходимо сжечь нормального топлива (н.т.)	кг	104,48	99,84	104,48
Количество н.т., эквивалентного 1 т.у.т.*	кг	731,36	698,88	731,36
Стоимость 1 т.у.т. полученной из н.т.	руб./т.у.т.	2 998,58	11 685,27	10 970,40
Стоимость нормального топлива	руб./кг	7,37	47,95	39,25
Топливная составляющая в тарифе на тепло	руб./Гкал	428,37	1 669,32	1 567,20
Стоимость цистерны для перевозки сжиженного газа	млн. руб.	–	2,2	4,6

Для анализа рентабельности использования СУГ и СПГ следует учитывать особенности технологии производства и транспортировки данных энергетических ресурсов [4-7].

Так стоимость завода на 100 000 000 $\text{нм}^3/\text{год}$ попутного нефтяного газа (ПНГ) составляет 25 000 000-30 000 000 долларов. Криогенный СПГ-завод на 500 000 000 $\text{нм}^3/\text{год}$ природного газа будет стоить 30 000 000-40 000 000 долларов.

Кроме этого, со стороны государства диктуется необходимость достижения 95 % утилизации ПНГ, что прописано в Постановлении Правительства РФ от 8 ноября 2012 г. № 1148 «Об особенностях исчисления платы за выбросы загрязняющих веществ, образующихся при сжигании на факельных установках и (или) рассеивании попутного нефтяного газа».

СПГ доставляется от комплекса сжижения до потребителя с помощью различных видов транспорта, проходит стадию регазификации (испарения) с последующим редуцированием до требуемого давления и поступает к потребителю в газообразном состоянии по внутриселковым и внутригородским газопроводам [8, 9].

В сравнении с СПГ сжиженные углеводородные газы (пропан-бутановые смеси) имеют существенные недостатки [4, 7, 10]:

- переменный фракционный состав;
- необходимость удаления неиспарившихся остатков в виде тяжелых фракций в резервуарах-хранилищах;
- меньшие границы воспламеняемости пропана и бутана в сравнении с метаном;
- образование локальных взрывоопасных зон в нижних точках пространства при утечках газа;
- в отличие от природного газа при утечках не выходит на поверхность, что затрудняет обнаружение;
- низкая температура воспламенения – 430-460° С (при этом воспламенение может произойти от нагретых поверхностей без открытого огня);
- объемный коэффициент расширения в 16 раз больше, чем у воды, в связи с чем при заполнении резервуаров СУГ необходимо оставлять не менее 15 % геометрического объема для возможности расширения смеси при нагревании.

В настоящее время СУГ используется в основном для приготовления пищи и горяч котельных и других производственных нужд, проигрывая в этом ПГ и СПГ [10, 11]. Следует также отметить, что компоненты СУГ, например пропан, являются ценным сырьем для химической промышленности, что свидетельствует против его использования для коммунально-бытовых нужд [9].

Из вышеназванных характеристик можно сделать вывод, что сжиженные углеводородные газы и сжиженный природный газ при первом приближении – взаимозаменяемые энергетические ресурсы. Вместе с тем

стоит отметить, что чем выше потребность в энергетических ресурсах, тем выгоднее становится использование сжиженного природного газа для газификации населенных пунктов, к которым по тем или иным причинам не был подведен магистральный газопровод [12]. Это связано в первую очередь с более низкой стоимостью производства сжиженного природного газа в сравнении со сжиженным углеводородным газом. Также следует отметить, что начальные затраты на газификацию при помощи сжиженного природного газа будут иметь значительно большие размеры нежели при газификации сжиженным углеводородным газом [13, 14]. Использование СУГ вместо СПГ производится обычно в условиях, когда нет возможности газифицировать район природным газом или СПГ и рентабельно в случаях, когда объем потребления сжиженного газа не превышает 100 млн. м³ в год.

Существующий опыт использования СПГ свидетельствует о том, что его можно использовать для регулирования пиковой неравномерности газопотребления на крупных производственных объектах, а также в качестве моторного топлива для различных видов транспорта. Комплексный подход к использованию СПГ в различных сферах экономики повышает технико-экономические показатели его производства, распределения и потребления.

Список литературы

1. Медведева О.Н. Оптимизация структуры распределения газового топлива // Вестник гражданских инженеров. 2009. 34 (21). С. 73-76.
2. Bianco V. Current situation and future perspectives of European natural gas sector / Vincenzo Bianco, Federico Scarpa, Luca A. Tagliafico // *Frontiers in Energy*. 2015. Vol. 9, № 1. P. 1-6.
3. Медведева О.Н. Повышение эффективности энергообеспечения урбанизированных зон / О.Н. Медведева // *Техническое регулирование в транспортном строительстве*. 2019. № 4 (37). С. 230-234.
4. Медведева О.Н. Разработка энергосберегающих систем газоснабжения малых населенных пунктов на базе сжиженного углеводородного газа: дис.... канд. техн. наук 05.23.03 / Медведева Оксана Николаевна. Воронеж, 2000. 227 с.
5. Бармин И.В., Кунис И.Д. Сжиженный природный газ вчера, сегодня, завтра. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 256 с.
6. Федорова Е.Б. Современное состояние и развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии и оборудование. М.: ИЦ РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2011. 159 с.
7. Крылов Е.В., Гордеева Р.П. Газоснабжение сжиженным природным газом. Саратов: СГАУ, 2003. 156 с.
8. Медведева О.Н., Фролов В.О. Система резервного обеспечения потребителей газовым топливом // *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура*. 2016. № 4 (44). С. 38-47.
9. Рачевский Б.С. Нетрадиционный способ газификации // *Газовая промышленность*. 1999. №6. С. 55-56.

10. Курицын Б.Н., Осипова Н.Н., Медведева О.Н. Оптимизация поселковых систем снабжения сжиженным углеводородным газом на базе резервуарных установок с электрическим испарителем // Инженерные системы. АВОК-Северо-Запад. 2008. № 4. С. 54-58.

11. Medvedeva O.N. Comparative evaluation of the energy and economic efficiency the gas supply systems of small towns // Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2018. № 1 (37). pp. 29-41.

12. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1026>.

13. Медведева О.Н., Фролов В.О. Разработка конструкции автомобильной цистерны для доставки сжиженного природного газа // Нефтегазовое дело. 2012. № 3. С. 108-114.

14. Ишмуратова М. Российский мало- и среднетоннажный СПГ. Региональная серия: Кузбасс, Якутия, Дальний Восток, Сахалин, Черное море. М.: Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО, 2019. 56 с.

УДК 621.6.036

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ИСПАРИТЕЛЕЙ И КОНДЕНСАТОРОВ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ НА ЗЕОТРОПНЫХ СМЕСЯХ

Рулев Александр Владимирович, Усачева Елена Юрьевна

Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А., Россия

e-mail: nautech@inbox.ru

***Аннотация.** Предложена методика расчета длины горизонтальных испарителей и конденсаторов тепловых насосов, которая определяется на основе уравнения теплового баланса, как сумма длин отдельных участков при различных режимах течения паро-жидкостной зеотропной смеси.*

***Ключевые слова:** теплообменная поверхность, испаритель, конденсатор, тепловой насос, зеотропная смесь, оптимальный состав, режимы течения парожидкостной смеси*

THERMAL CALCULATION OF HEAT PUMP EVAPORATORS AND CONDENSERS BASED ON ZEOTROPIC MIXTURES

Rulev Alexander Vladimirovich, Usacheva Elena Yuryevna

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

e-mail: nautech@inbox.ru

***Abstract.** The paper proposes a method for calculating the length of horizontal evaporators and condensers of heat pumps, which is determined on the basis of the heat balance equation as the sum of the lengths of individual sections under different flow modes of a vapor-liquid zeotropic mixture.*

***Keywords:** heat exchange surface, evaporator, condenser, heat pump, zeotropic mixture, optimal composition, flow modes of vapor-liquid mixture*

При использовании возобновляемых тепловых источников, имеющих ограниченную объемную тепловую емкость (ОТЕ), например воздуха, воды, газов, температура которых при охлаждении в испарителе и нагревании в конденсаторе теплового насоса (ТН) существенно изменяется, использование в качестве рабочего агента веществ с постоянными температурами кипения и конденсации характеризуется снижением энергетической эффективности применения ТН [1, 2]. В то же время реализация цикла с переменными температурами тепловых источников (воздух, вода, различные газы) и рабочих агентов в испарителе и конденсаторе позволяет повысить энергетическую эффективность использования тепловых насосов [3, 4].

В теплонасосной технике для испарения и конденсации зеотропных смесей, предназначенных для нагрева и охлаждения сред с ОТЕ, как правило, используются горизонтальные и слабонаклонные трубы или пучки параллельно соединенных горизонтальных труб. Известно, что процессы испарения и конденсации в горизонтальных трубах протекают в обратной последовательности и описываются одинаковыми уравнениями теплообмена, а также имеют z укрупненных режимов течения парожидкостной зеотропной смеси (см. рис. 1) внутри трубы [5], где z – номер и наименование режима течения: $z = 1$ – расслоено-пробковый; $z = 2$ – волно-кольцевой; $z = 3$ – дисперсный. Так при испарении жидкости в горизонтальной трубе ($z = 1; 2; 3$) сначала имеет место расслоено-пробковый режим течения ($z = 1$, сечение 3а и 3б рисунка), который с увеличением количества испаренной жидкости переходит в волно-кольцевой ($z = 2$, сечение 2а и 2б рисунка), а при дальнейшем выкипании в дисперсный ($z = 3$, сечение I рисунка) режим течения.

В то же время при конденсации паровой фазы в горизонтальной трубе ($z = 3; 2; 1$), наоборот, сначала имеет место дисперсный режим течения ($z = 3$, сечение I рисунка), который с увеличением количества сконденсированного пара переходит в волно-кольцевой ($z = 2$, сечение 2а и 2б рисунка), а при дальнейшей конденсации в расслоено-пробковый режим течения ($z = 1$, сечение 3а и 3б рисунка).

Обратная, но строго определенная последовательность смены режимов течения парожидкостной смеси позволила разработать обобщенное уравнение, согласно которому расчетная длина горизонтальных испарителей и конденсаторов тепловых насосов определяется на основе уравнения теплового баланса, как сумма длин отдельных участков при расслоено-пробковом $L_{z=1}$, волно-кольцевом $L_{z=2}$ и дисперсном $L_{z=3}$ режимах течения, по формуле

$$\sum_{z=1}^{z=3} L_z = L_{z=1} + L_{z=2} + L_{z=3} . \quad (1)$$

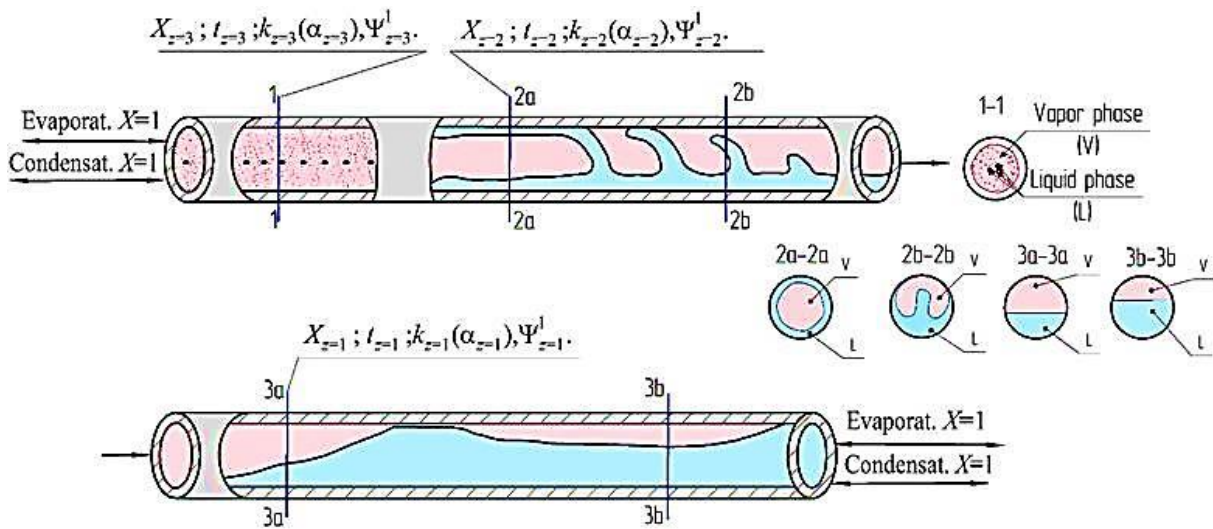


Рис. 1. Расчетная схема к методике определения длины испарительного и конденсаторного участков трубного теплообменника тепловых насосов работающих на зетропных смесях рабочих агентов

Длина отдельного z -го участка противоточного трубного испарителя при полном испарении зетропной смеси внутри трубы и конденсатора при полной ее конденсации, определяется по формуле

$$L_z = \frac{G (X_{z,e} - X_{z,b})}{\pi \cdot d_{int} \cdot k_{z,ev}(\alpha_{z,ev})} \cdot \left(r_{z,av} \int_{t_{e,z}}^{t_{e,z}} \frac{dX_z}{t_h - t_z} dt_z + c_{z,av} \int_{t_{b,z}}^{t_{e,z}} \frac{dt_z}{t_h - t_z} dt_z \right), \quad (2)$$

где G – расчетный массовый расход зетропной смеси циркулирующий в испарителе и конденсаторе, кг/ч; $X_{z,e}$, $X_{z,b}$ – конечные и начальные значения степени сухости парожидкостной смеси, при которых наблюдается переход одного режима течения в другой, в долях от единицы; d_{int} – внутренний диаметр проточного трубного испарителя и конденсатора теплового насоса, м; $k_z(\alpha_z)$ – величина коэффициента теплопередачи, как функция от коэффициента теплоотдачи, характерная для расслоено-пробкового, волно-кольцевого и дисперсного режимов течения, Вт/(м²·К); t_h – температура теплоносителя, °С; t_z – текущая температура парожидкостной смеси, изменяющаяся в интервале температур от $t_{b,z}$ до $t_{e,z}$ в испарителе и от $t_{e,z}$ до $t_{b,z}$ в конденсаторе, °С; $t_{b,z}$, $t_{e,z}$ – начальные и конечные температуры испаряемой или конденсируемой парожидкостной зетропной смеси на участках, соответственно с расслоено-пробковым, волно-кольцевым и дисперсным режимами течения в проточном трубном испарителе или конденсаторе при соответствующей степени сухости $X_{z,e}$ и $X_{z,b}$, °С; $r_{z,av}$, $c_{z,av}$ – соответственно, средние значения скрытой теплоты парообразования и удельной теплоемкости смеси в интервалах ее испарения или конденсации, соответственно

на участках с расслоено-пробковым, волно-кольцевым и дисперсным режимами течения, кДж/кг, кДж/кг·К.

При получении формулы (2) зеотропная смесь, поступающая в испаритель с мольным содержанием низкокипящего компонента в жидкой фазе ψ_z^l , согласно [6, 7], полностью выкипает в интервале температур от $t_{b,z=1}$ до $t_{e,z=3}$. При этом для каждого из указанных режимов течения, температура испарения смеси изменяется в следующих диапазонах: расслоено-пробковый режим $t_{e,z=1} \geq t_{z=1} \geq t_{b,z=1}$; волно-кольцевой режим $t_{e,z=2} \geq t_{z=2} \geq t_{b,z=2}$; дисперсный режим $t_{e,z=3} \geq t_{z=3} \geq t_{b,z=3}$.

Подводимый тепловой поток складывается как из теплоты испарения смеси, так и теплоты на ее нагревание в интервале температур ее полного испарения от t_b до t_e .

Зеотропная смесь, поступающая в конденсатор с мольным содержанием низкокипящего компонента в паровой фазе $\psi_{z=3}^v = \psi_{z=1}^l$, полностью конденсируется в интервале температур от $t_{e,z=3}$ до $t_{b,z=1}$. При этом для каждого из указанных режимов течения, температура конденсации смеси изменяется в следующих диапазонах: дисперсный режим $t_{e,z=3} \geq t_{z=3} \geq t_{b,z=3}$; волно-кольцевой режим $t_{e,z=2} \geq t_{z=2} \geq t_{b,z=2}$; расслоено-пробковый режим $t_{e,z=1} \geq t_{z=1} \geq t_{b,z=1}$. Отводимый тепловой поток складывается как за счет конденсации смеси, так и охлаждения в интервале температур ее полной конденсации от $t_{e,z=3}$ до $t_{b,z=1}$.

Удельные теплоемкости и скрытые теплоты парообразования насыщенной паровой фазы зеотропной смеси, в диапазонах существования расслоено-пробкового, волно-кольцевого и дисперсного режимов течения, принимаются постоянными и равными их средним значениям, то есть: $C_{z=1.av}$, $C_{z=2.av}$, $C_{z=3.av}$ и $r_{z=1.av}$, $r_{z=2.av}$, $r_{z=3.av}$.

Изменение режимов течения и содержания низкокипящего компонента в паровой и жидкой фазах парожидкостной смеси приводит к изменению величины коэффициента теплоотдачи между внутренней поверхностью теплообменной трубы и зеотропной смесью. При этом для каждого из указанных режимов течения, содержание низкокипящего компонента в жидкой фазе ψ_z^l изменяются в следующих диапазонах: расслоено-пробковый режим $\psi_{z=1.e}^l \leq \psi_{z=1}^l \leq \psi_{z=1.b}^l$; волно-кольцевой режим $\psi_{z=2.e}^l \leq \psi_{z=2}^l \leq \psi_{z=2.b}^l$; дисперсный режим $\psi_{z=3.e}^l \leq \psi_{z=3}^l \leq \psi_{z=3.b}^l$.

Коэффициент теплопередачи $k_z(\alpha_z)$ для испарителя и конденсатора изменяется в одинаковых диапазонах: расслоено-пробковый режим $k_{z=1.e}(\alpha_{z=1.e}) \leq k_{z=1}(\alpha_{z=1}) \leq k_{z=1.b}(\alpha_{z=1.b})$; волно-кольцевой режим $k_{z=2.e}(\alpha_{z=2.e}) \geq k_{z=2}(\alpha_{z=2}) \geq k_{z=2.b}(\alpha_{z=2.b})$; дисперсный режим $k_{z=3}(\alpha_{z=3}) = \text{const}$.

Подставляя уравнение (2) для определения длины z -х участков $L_{z=1}$, $L_{z=2}$, $L_{z=3}$ для расслоенно-пробкового, волно-кольцевого и дисперсного режимов течения, в формулу (1) определяем величину суммарной тепло-

обменной длины $\sum_{z=1}^{z=3} L_z$ проточного трубного испарителя и конденсатора теплового насоса.

Выводы

Предложена методика определения длины противоточных трубных испарителей и конденсаторов тепловых насосов, использующих в качестве возобновляемых тепловых источников среды, имеющие ограниченную объемную тепловую емкость (воздух, вода, различные газы), температуры которых при охлаждении в испарителе и нагревании в конденсаторе теплового насоса существенно изменяются, и использующие в качестве рабочих тел зеотропные смеси, температура которых также изменяется.

Список литературы

1. Мартыновский В.С. Циклы, схемы и характеристики термотрансформаторов. М.: Энергия, 1979. 285 с.
2. Shurayts A.L., Rulev A.V., Usacheva E.Yu. Assessing Energy Efficiency of Compression Heat Pumps in Drying Processes when Zeotropic Hydrocarbon Mixtures are Used as Working Agents // MATEC Web Conf. Volume 73, (2016) 02015 XV International Conference «Topical Problems of Architecture, Civil Engineering, Energy Efficiency and Ecology – 2016». Pp. 1-9. <http://dx.doi.org/10.1051/mateconf/20167302015>.
3. Букин В.Г., Кузьмин А.Ю. Холодильные машины работающие на незеотропных смесях хладагентов. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2007. 156 с.
4. Kim M., Kim M.S., Kim Y. Experimental study on the performance of heat pump system with refrigerant mixtures composition change // Energy. 2004. Vol. 24 P. 1053-1068.
5. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1973. 320 с.
6. Усачева Е.Ю., Рулев А.В., Шурайц А.Л. Выбор смесей рабочих агентов и их состава в компрессионных тепловых насосах систем теплогазоснабжения и вентиляции для нагрева и охлаждения сред с ограниченной теплоемкостью // НЖ строительства и архитектуры. 2017. № 4 (48). С. 47-57.
7. Usacheva E.Yu., Shurayts A.L., Rulev A.V. Choice of mixtures of agents in heat pumps for heating and cooling media with limited capacity issue // Russian Journal of Building Construction and Architecture. № 1 (37), 2018. pp. 53-66.

**Секция 6. РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ
СООРУЖЕНИЙ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ИХ ЭКОНОМИЧНОСТИ, НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 620.16

**СОРБЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В БЕТОННЫХ
КОНСТРУКЦИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ**

Добшиц Лев Михайлович, Николаева Алина Андреевна

Российский университет транспорта, Россия

e-mail: levdobshits@yandex.ru, alinka.yoko@gmail.com

***Аннотация.** Рассматривается влияние изменений влажности окружающей среды на долговечность и эксплуатацию бетонных и железобетонных конструкций. Обсуждается важность изучения изотерм сорбции и десорбции водяного пара цементных материалов. Приводятся современные исследования гистерезисного поведения изотерм сорбции водяного пара и перспективы результатов данных работ. Поскольку движение жидкости по пористой структуре бетона непосредственно связано с механизмами переноса жидкости, приводятся исследования диффузии и капиллярного переноса. Большинство существующих моделей переноса жидкости в бетоне основываются на законах, применяющихся в грунтах, что ставится под сомнения некоторыми исследователями.*

***Ключевые слова:** бетон, изотермы сорбции, гистерезис, проницаемость, пористость*

**SORPTION PROCESSES IN CONCRETE
CONSTRUCTIONS AND STRUCTURES**

Dobshits Lev Mikhailovich, Nikolaeva Alina Andreevna

Russian University of Transport, Russia

e-mail: levdobshits@yandex.ru, alinka.yoko@gmail.com

***Abstract.** This article examines the influence of changes in environmental humidity on the durability and working of concrete and reinforced concrete structures. The importance of studying the sorption and desorption isotherms of water vapor in cement materials is discussed. Modern studies of the hysteresis behavior of water vapor sorption isotherms and the prospects for the results of these works are presented. Since the movement of fluid over the porous structure of concrete is directly related to the mechanisms of fluid transfer, studies of diffusion and capillary transfer are presented. Most of the existing models of fluid transport in concrete are based on the laws applied in soils, which is questioned by some researchers.*

***Keywords:** concrete, sorption isotherms, hysteretic, permeability, porosity*

Долговечность и надежная эксплуатация железобетонных конструкций зависит от множества физических и химических факторов, однако определяющим фактором будет являться изменения влажности. Вследствие воздей-

ствия окружающей среды бетонные конструкции и сооружения, как правило, испытывают постоянные циклы увлажнения и высушивания. Бетон представляет собой пористый материал, а движение жидкости по капиллярной системе бетона ведет к постепенной деградации материала. Высушивание приводит к усадке и образованию трещин, в то время как при увлажнении микроструктура заполняется водой и набухает [1]. Происходит и гидратация обнажающихся непрогидратировавших зерен цемента. Скорость и тип процессов массопереноса в бетоне сильно зависят от содержания и скорости миграции влаги. Циклическое увлажнение и высушивание вызывает сорбционно-десорбционный гистерезис, когда изменения в бетоне характеризуется сложным поведением и зависят от предшествующих воздействий [1, 2].

Сорбция и десорбция водяного пара материалом представляет собой процесс поглощения или отдачи водяного пара материалом в окружающую среду, который приводит к равновесному влажностному состоянию материала с окружающей средой. Основными характеристиками рассматриваемого процесса являются изотермы сорбции и десорбции водяного пара материалом, представляющие собой зависимость равновесной влажности материалов (сорбции или десорбции) от относительного давления водяного пара (относительной влажности воздуха).

Для моделирования в капиллярно-пористом материале переноса влаги изотермы сорбции водяного пара описывают взаимосвязь между относительной влажностью (или капиллярным давлением) и содержанием воды (или степенью насыщения), и используются для установления равновесия между жидкостью-водой и паром [3]. Изотермы сорбции водяного пара внесли существенный вклад в современные знания о пористой наноструктуре цементных материалов и являются важным компонентом в современных расчетах долговечности.

Первичными механизмами переноса жидкости, с помощью которых ионы хлорида и сульфата проникают в бетон, являются диффузия и капиллярное явление. Диффузия представляет собой очень медленный процесс, поэтому предполагается, что капиллярный перенос, особенно вблизи ненасыщенной бетонной поверхности, является основным механизмом проникновения [4]. Многие исследования [4, 5] основываются на методе решеточных уравнений Больцмана. Математические исследования [4] являются пионерными по внедрению метода Больцмана в области прогнозирования транспортных свойств для частично насыщенных цементных материалов. Исследования отмечают значительную зависимость проницаемости жидкости от степени насыщения.

Также существуют исследования [5] представляющие комплексный подход к оценке проницаемости, моделируя распределения влаги и потока жидкости в ненасыщенном цементном камне с различным возрастом отверждения, и оценивает параметры водо- и газопроницаемости. Результаты по-

казывают, что проницаемость воды и газа сильно зависит от степени насыщения – с уменьшением водонасыщенности уменьшается и водопроницаемость, а газопроницаемость увеличивается [5]. Для всех бетонных образцов существует сильная взаимосвязь между проницаемостью и эффективной капиллярной пористостью. Это означает, что основное влияние в оценке транспортных свойств воды или газа в цементных материалах оказывает эффективная пористость [5]. Кроме того, распределение влаги и проницаемость ненасыщенного материала сильно зависят от его микроструктуры.

Результаты исследования [4] капиллярного переноса воды в бетонах и растворах в зависимости от водоцементного соотношения, размера песка и условий твердения. Эксперименты по измерению капиллярного всасывания воды в бетоне показали противоречивые результаты, касающиеся временной зависимости суммарного поглощения воды. Предположительно это являлось результатом модификации структуры пор из-за продолжающегося процесса гидратации, уменьшающее размер пор и замедляющее сорбцию, и из-за процесса выщелачивания, который в свою очередь увеличивает поры и усиливает капиллярную сорбцию. Однако количественных исследований произведено не было. Аномальное поведение, наблюдающееся в некоторых исследованиях сорбции, и может быть результатом не учета поверхностных эффектов. Также маленькие поры, вероятно, контролируют капиллярное всасывание в более длительных периодах времени.

Как было отмечено, бетонные конструкции, испытывающие при эксплуатации циклы сушки и смачивания, редко полностью насыщаются, за исключением все время погруженных в воду частей. В таких условиях скорость проникновения воды и накопления растворенных агрессивных частиц в частично насыщенный бетон в значительной степени контролируется капиллярным поглощением, а не диффузией Фика или потоком, вызванным давлением. Сорбционная способность является измеряемым свойством и используется в качестве показателя эффективности переноса влаги. Несомненно, она будет зависеть от состава смеси, степени гидратации и условий воздействия. Испытания на капиллярную абсорбцию выполняются на предварительно высушенных образцах, когда для ускорения эксперимента часто прибегают к повышенным температурам. Вполне вероятно, что наличие микротрещин, вызванных высокими температурами, может быть фактором, вызывающим аномальный перенос воды.

Основной целью современных исследований в этом направлении [6, 7] является корректное описание изотерм сорбции водяного пара для цементных материалов, включая проявление гистерезиса, с помощью математических формул. Большинство существующих моделей основываются на законах, применяющихся в грунтах. Однако поднимаются и вопросы о целесообразности применения закона Фика и уравнения Ричарда для представления переноса влаги в цементных материалах [8, 9], что ставит под сомнение выводы некоторых работ [7].

Подобные исследования только развиваются, и в них еще нет хорошего согласия математических и экспериментальных данных.

Список литературы

1. Wu Z. Transport properties of concrete after drying-wetting regimes to elucidate the effects of moisture content, hysteresis and microcracking / Z. Wu, H.S. Wong, N.R. Buenfeld // Cement and Concrete Research. Vol. 98. August 2017. P. 136-154.
2. Wu Z. Anomalous water absorption in cement-based materials caused by drying shrinkage induced microcracks / Z. Wu, H.S. Wong, C. Chen, N.R. Buenfeld // Cement and Concrete Research. Vol. 115, January 2019. P. 90-104.
3. Zhidong Zhang, M. Thiéry, V. Baroghel-Bouny. A review and statistical study of existing hysteresis models for cementitious materials // Cement and Concrete Research – 2014. – Vol. 57. March. P. 44-60.
4. Nicos S. Martys, Chiara E Ferraris. Capillary transport in mortars and concrete // Cement and Concrete Research. 1997. Vol. 27. № 5. P. 747-760.
5. Mingzhong Zhang. Pore-scale modelling of relative permeability of cementitious materials using X-ray computed microtomography images // Cement and Concrete Research. 2017. Vol. 95, May. P. 18-29.
6. Zhidong Zhang, M. Thiéry, V. Baroghel-Bouny. A review and statistical study of existing hysteresis models for cementitious materials // Cement and Concrete Research. 2014. Vol. 57. March. P. 44-60.
7. James M.de Burgh, Stephen J. Foster. Influence of temperature on water vapour sorption isotherms and kinetics of hardened cement paste and concrete. // Cement and Concrete Research. 2017. Vol. 92. February. P. 37-55.
8. Saeidpour M., Wadsö L., Evidence for anomalous water vapor sorption kinetics in cement based materials // Cement and Concrete Research. 2015. Vol. 70 (4). P. 60-66.
9. Hall C., Anomalous diffusion in unsaturated flow: fact or fiction? // Cement and Concrete Research. 2007. Vol. 37 (3). P. 378-385.

УДК 62.25: 62-251

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РЕСУРСОЛИМИТИРУЮЩИХ ПАР ТРЕНИЯ В НЕФТЕГАЗОВОМ ДЕЛЕ

Елманов Кирилл Алексеевич, Катков Данила Сергеевич

Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А., Россия

e-mail: elmanov.k2000@gmail.com

***Аннотация.** Рассмотрены методы увеличения надежности ресурсолимитирующих пар трения в нефтегазовом деле. Для реализации эффекта избирательного переноса в трущихся сопряжениях нефтеперекачивающего насосного оборудования, газоперекачивающих агрегатов и шарошечных долот предложено применение финишной антифрикционной безабразивной обработки и применение специальных наноприсадок к смазочному материалу.*

***Ключевые слова:** надежность, ресурс, пара трения, избирательный перенос, финишная антифрикционная безабразивная обработка*

ENSURING THE RELIABILITY OF RESOURCE FRICTION COUPLES IN THE OIL AND GAS ENGINEERING

Elmanov Kirill Alekseevich, Katkov Danila Sergeevich
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia
e-mail: elmanov.k2000@gmail.com

***Abstract.** Methods of increasing the reliability of resource-limiting friction pairs in oil and gas engineering are considered. To realize the effect of selective transfer of oil pumping equipment, gas pumping units and roller cone bits, it is proposed to use a finished antifrictional unabrasive treatment and the use of special nanoadditives to the lubricant.*

***Keywords:** reliability, resource, friction pair, selective transfer, finished antifrictional unabrasive treatment*

Нефтегазовая отрасль является одной из самых развитых в экономике Российской Федерации.

Комплекс технологических систем, задействованных в процессах добычи, подготовки, переработки и транспортировки углеводородов нефти включает огромное количество агрегатов различного назначения. С точки зрения надежности такую систему можно рассматривать как сложную техническую систему, состоящую из множества подсистем и объектов.

За 2019 год компанией Лукойл было добыто 2,4 млрд баррелей углеводородов. Объемы переработки нефти достигли показателя в 1,4 млрд баррелей в сутки [1].

Протяженность действующих трубопроводов компании «Транснефть» составляет более 72 тыс. км. Нефть и нефтепродукты перекачивают около 2400 магистральных насосов в составе 87 нефтеперекачивающих станций [2].

ООО «Газпром» обеспечивает транспортировку газа, обслуживая более 100 компрессорных станций, более 626 газораспределительных станций. В общей сложности Общество эксплуатирует более 7 тыс. км газопроводов, в том числе 5 тыс. км магистральных газопроводов и около 2 тыс. км газопроводов-отводов [3].

В бурении при разработке грунтов средней твердости используются шарошечные долота, ресурсолимитирующим элементом которых является опора шарошки, которая охлаждается и смазывается промывочной жидкостью, содержащей твердую фазу, что значительно ускоряет износ. Такие долота, как правило, меняют каждые 500 м. Существует конструкция с герметизированной опорой, при которой шарошечное долото имеет специальную систему смазки. Это более долговечная конструкция, но и более дорогая (Таблица 1 [4]).

Статистика выхода из строя шарошечных долот показывает, что слабым местом является опора шарошек.

Таблица 1

Статистика причин отказа шарошечных долот

Причина отказа	Число отказов, %
Скол зубьев	11,2
Сальникообразование	5,8
Поломка опоры шарошек	27,6
Потеря насадки	14,4
Заклинка долота	9,5
Закупорка насадки	3,4
Прочее	28,1

Для обеспечения бесперебойной работы трубопроводов используется множество дорогостоящего оборудования, требующего соответствующего контроля и обслуживания, например запорная арматура, турбоагрегаты, насосы, средства очистки нефти и газа и т. д.

В транспорте нефти и газа самую важную роль играют нефтеперекачивающие станции и газоперекачивающие агрегаты, основными агрегатами которых являются насосы и компрессоры, соответственно.

В случае отказа насоса или турбоагрегата происходит полная остановка станции, что влечет за собой производственные издержки и большие затраты на восстановление работоспособности агрегата.

Основной причиной отказов магистральных насосных агрегатов являются отказы торцевых уплотнений, которые могут вызываться повышенным износом пары трения, нагревом уплотнения, дефектами в изготовлении и сборке деталей и узлов торцевого уплотнения, нарушением условий эксплуатации (Таблица 2) [5, 6].

Статистика показывает, что на долю выхода из строя торцевых уплотнений и подшипников скольжения приходится больше 45 %.

Таблица 2

Статистика отказов узлов НПС

Причина отказа	Число отказов, %
Торцевые уплотнения валов	30,4
Подшипники скольжения	15,4
Ошибки обслуживающего персонала	12,1
Маслосистема	9,3
Повышенная вибрация	4,3
Система утечек и разгрузки	3,9
Прочее	24,6

Вследствие досрочного выхода из строя торцевых уплотнений в центробежных насосах. Средняя наработка насосов до выхода из строя торцевых уплотнений составляет около 1000 ч при установленном ресурсе 8000 ч.

Согласно, ниже приведенной статистике выхода из строя газотурбинных установок (ГТУ) за период 2016-2020 г. видно, что в среднем каждый второй эксплуатируемый агрегат выходил из строя по причине аварии (табл. 3 [7]).

Статистика числа остановов ГТУ

Тип ГТУ	Кол-во агрегатов	Число остановов
RGT-10	24	20
ГПА-Ц-16	244	118
ГТК-10-4	264	124
ГПА-10-01	79	48
ГТ-6-750	78	25
ГТК-10И	22	12
ГПА-ДУ-25	20	32

На сегодняшний день проблема обеспечения надежности данных сопряжений осуществляется реализацией эффекта избирательного переноса.

В процессе эксплуатации пара трения подвержена износу, который обуславливается повреждениями поверхности рабочего тела.

Применение эффекта избирательного переноса (ИП) обеспечивает регенерацию поврежденной поверхности рабочего тела.

ИП представляет собой вид трения с многофакторной защитой, реализованной посредством сервовитной пленки, образующейся в результате трения двух структур неживой природы, которая несет нагрузку, поглощает деформацию, исключает появление неровностей и шероховатостей, а вследствие химических процессов обладает эффектом сохранности вещества и восстановления.

Для реализации эффекта ИП необходимо наличие тонкого слоя сплава цветных металлов и специального смазывающего вещества-реагента. Данным эффект реализуется применением при изготовлении деталей пар трения специальных антифрикционных материалов на основе баббитовых сплавов, однако согласно статистике отказов, данную проблему так и не удалось решить.

Одним из путей достижения эффекта ИП может служить метод финишной антифрикционной безабразивной обработки (ФАБО) поверхностей трущихся деталей.

Метод ФАБО заключается в нанесение на поверхности стальных деталей тонкого металлического (медного) покрытия фрикционно-механическим, либо фрикционно-химическим способом, обладающего выдающимися антифрикционными свойствами при установившемся режиме эксплуатации узла трения [8].

ФАБО обеспечивает повышение износостойкости деталей в 1,5-2 раза, а также антифрикционных и противозадирных свойств трущихся поверхностей, ускоряет и улучшает качественно приработку сопряжений [9, 10].

Такой метод имеет также и недостатки: многие детали имеют сложную геометрию и для обработки таких узлов необходимо применять спе-

специализированное оборудование, позволяющее нанести равномерный слой на поверхность всей детали. Также для обеспечения адгезии используют дорогостоящие реагенты, такие как серная кислота.

Изготовление узла целиком из баббитового сплава помимо своих положительных антифрикционных качеств имеет ряд недостатков, таких как высокая цена и в большинстве случаев недостаточная твердость и механическая прочность изделия. Более дешевым является способ нанесения тонкой медной пленки на изделие, изготовленное из стали.

Применение ФАБО является перспективным решением повышения ресурса насосов, турбоагрегатов и их приводов.

Другим способом нанесения медной пленки является способ использования специальных наноприсадок в маслах. Такой метод обычно используют для регенерации уже существующего слоя меди, при работающем агрегате, что позволяет минимизировать издержки производства и обеспечить надежное функционирование системы.

Недостатками метода использования наноприсадок является необходимость использования плазменных печей для измельчения меди до размеров, соответствующих нано частицам.

Таким образом реализация эффекта ИП улучшает противозадирные свойства и уменьшает время приработки деталей сопряжения, увеличивает его ресурс. А применение ФАБО в узлах трения МНС, ГПА и их приводов, а также введения металлоплакирующих нанодисперсных присадок в смазочный материал закрытых систем смазки шарошечных долот представляет интерес для дальнейшего исследования.

Список литературы

1. Официальный сайт ЗАО «Лукойл» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://lukoil.ru/Business/Upstream/KeyProjects> (дата обращения: 01.12.2020).
2. Официальный сайт ОАО «Транснефть» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.transneft.ru/about/story> (дата обращения: 01.12.2020).
3. Официальный сайт ООО «Газпром» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gazprom.ru/about> (дата обращения: 01.12.2020).
4. Информационный портал «burenieinfo» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://burenieinfo.ru/dolota-sharoshechnyie> (дата обращения: 01.12.2020).
5. Катков Д.С. Повышение надежности трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов увеличением ресурса трибосопряжений насосного оборудования [Электронный ресурс] / Д.С. Катков, О.В. Наумова, Е.В. Спиридонова // Вестник Евразийской науки. № 2. Т. 12. 2020. Режим доступа: <https://esj.today/PDF/04SAVN220.pdf> (дата обращения: 03.04.2020).
6. Катков Д.С. О перспективах повышения долговечности магистральных нефтеперекачивающих агрегатов методом финишной антифрикционной безабразивной обработки / Д.С. Катков // Научно-технические проблемы совершенствования транспорта энергоносителей и развития систем газознергоснабжения, водоснабжения и водоотведения: сборник научных трудов III Международной научно-практической конференции. Саратов: СГТУ, 2020. С. 149-151.

7. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации «Консорциум КОДЕКС» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200043548> (дата обращения: 01.12.2020).

8. Цыпцын В.И. Восстановление поверхностей методом финишной антифрикционной безабразивной обработки / В.И. Цыпцын, Д.С. Катков // Современные технологии в машиностроении: сб. ст. / под ред. Е.А.Чуфистова, В.Д. Дорофеева. Пенза: Приволжский дом знаний, 2004.

9. Цыпцын В.И. Триботехнические испытания покрытий и наноприсадок на машине трения ИИ 5018 / В.И. Цыпцын, Д.С. Катков, Н.А. Родин, М.В. Цыпцын, А.А. Ерышев // Вавиловские чтения – 2010: материалы Межд. науч.-практ. конф.: в 3 т. / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». Саратов: КУБИК, 2010. Т. 3. С. 386-387.

10. Катков Д.С. О путях снижения интенсивности изнашивания трибосопряжений / Д.С. Катков // Научное обозрение: научный журнал. Вып. 2. Саратов: ООО «АПЕКС-94», 2012. С. 358-363.

УДК 624.078.7

О ПРОБЛЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЛОЖЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ НА СЛАБОНЕСУЩИХ ГРУНТАХ

**Исмагулова Салтанат Махамбетовна,
Курмашев Бакберген, Убаев Берик Ибатович**

*Казахстанский университет инновационных
и телекоммуникационных систем, Республика Казахстан*
e-mail: saltusha_19902mail.ru

***Аннотация.** В настоящий момент для обеспечения устойчивости магистральных трубопроводов используются удерживающие устройства, подразделяющиеся на две группы по способу воздействия на сооружение: за счет собственного веса; за счет несущей способности грунтов и конструктивных особенностей устройства. Каждый тип устройства обладает своим рядом достоинств и недостатков, с учетом которых принимается решение об их использовании при строительстве в конкретных условиях, но, как показывает практика, они не способны в достаточной степени обеспечить устойчивость магистральных трубопроводов на весь срок их эксплуатации.*

Целью статьи является представление конструкции удерживающих устройств второй группы, работающих совместно с матричной сеточной системой.

Анкер, включающий левый и правый анкерные блоки, верхнюю соединительную муфту, устанавливается совместно с балластирующим полукольцом, закрепленным на трубопроводе и соединенным с анкерными блоками через хомуты. При этом каждый анкер в группе связывается с соседними сеточной системой.

Для решения задач применялись инженерные методы расчета устойчивости положения трубопровода.

***Ключевые слова:** магистральный трубопровод; устойчивость положения трубопроводов; слабонесущие грунты; матричная сеточная система*

ON THE PROBLEM OF ENSURING THE STABILITY OF THE POSITION OF MAIN PIPELINES ON WEAKLY BEARING SOILS

**Ismagulova Saltanat Makhambetovna, Kurmashev Bakbergen,
Ubaev Berik Ibatovich**

Kazakhstan University of Innovation and Telecommunication Systems, Kazakhstan
e-mail: saltusha_19902mail.ru

***Abstract.** Currently, to ensure the stability of the trunk pipelines, restraint devices are used, which are divided into two groups according to the method of influencing the structure: due to their own weight; due to the bearing capacity of soils and the design features of the device. Each type of device has its own advantages and disadvantages, taking into account which a decision is made on their use in construction in specific conditions, but as practice shows, all these methods are not able to sufficiently ensure the stability of trunk pipelines for the entire duration of their operation.*

The purpose of this article is to present the design of restraints of the second group, working in conjunction with a matrix grid system.

An anchor, including left and right anchor blocks, an upper coupling, is installed together with a ballasting half ring fixed to the pipeline and connected to the anchor blocks via clamps. In addition, each anchor in the group is associated with neighboring grid systems.

To solve the tasks, engineering methods to calculate the stability of the pipeline were used.

***Keywords:** trunk pipeline; pipeline sustainability; soft soils; matrix grid system*

Основной функцией системы трубопроводного транспорта нашей страны является обеспечение бесперебойной и безотказной поставки углеводородного сырья до конечного потребителя. Для выполнения поставленной задачи вся система должна соответствовать требуемому уровню надежности, устанавливаемому действующей нормативно-технической документацией. Одним из условий надежного функционирования магистральных трубопроводов является обеспечение устойчивости их положения.

Особенно данная проблема актуальна при сооружении и эксплуатации трубопроводов на территориях многолетней мерзлоты и слабонесущих грунтов. Помимо воздействия внутреннего давления, суточных и сезонных колебаний температуры, упругого изгиба и внешних нагрузок на трубопровод оказывают влияние дополнительные осложняющие факторы. Для многолетнемерзлых грунтов осложняющим фактором является изменение их свойств при оттаивании: в мерзлом состоянии грунты имеют характеристики, резко отличающиеся от таковых при нормальной температуре. При оттаивании мерзлые грунты теряют свою несущую способность, могут давать значительные осадки. При замораживании оттаявшего грунта также может произойти их пучение. Все это может привести к потере устойчивости трубопровода и, следовательно, выпучиванию его из траншеи и изме-

нению напряженно-деформированного состояния вследствие возрастания величины внутренних напряжений [1].

При строительстве магистральных трубопроводов на болотах осложняющим фактором является выталкивающая сила воды: при положительной плавучести нагрузки от веса трубопровода будет не достаточно для обеспечения проектного положения, следовательно, произойдет его всплытие [2].

В настоящий момент для обеспечения устойчивости магистральных трубопроводов используются удерживающие устройства, которые подразделяются на две группы [3-5]. К первой группе относятся устройства, удерживающие трубопровод на счет собственного веса [6, 7].

Сюда относятся следующие конструкции: кольцевые железобетонные и чугунные утяжелители; седловидные утяжелители; утяжелители охватывающего типа; каркасные и бескаркасные грунтозаполняемые устройства; сплошное обетонирование.

Ко второй группе относятся устройства, удерживающая способность которых обеспечивается несущей способностью грунтов и особенностями их конструкций. Сюда относятся анкеры различных типов [8]: винтовые; вмораживаемые; раскрывающиеся; выстреливаемые; взрывные; анкер-инъекторы.

Однако все эти устройства имеют ряд недостатков. К недостаткам кольцевых утяжелителей относят затраты при их транспортировании на площадку строительства, погрузочно-разгрузочные работы, необходимость использования футеровки для предотвращения повреждения изоляции трубопровода. При использовании железобетонных кольцевых утяжелителей также стоит отметить их массивность, что приводит к увеличению объема работ по разработке траншеи. Это критично как в условиях строительства на многолетнемерзлых грунтах по причине высоких физико-механических свойств таких грунтов в мерзлом состоянии, так и в условиях строительства на болотах ввиду использования специальных мер по снижению удельного давления строительной техники на грунт и сопутствующего снижения скорости производства земляных работ. В случае использования чугунных кольцевых утяжелителей необходимо принимать во внимание их подверженность коррозионному воздействию грунтовых вод на болотах и талых вод на многолетнемерзлых грунтах [9].

Недостатком балластирующих устройств охватывающего типа, так же как и в случае с железобетонными кольцевыми утяжелителями, является их массивность.

Помимо этого, для осуществления их монтажа на трубопровод необходимо наличие специальной траверсы. Седловидные пригрузки обладают существенным недостатком – их центр тяжести находится выше оси трубопровода, из-за чего нередки случаи их опрокидывания.

К недостаткам грунтозаполняемых устройств следует отнести затраты на выполнение погрузочно-разгрузочных работ, а также вымывание

грунта из устройства, что снижает их удерживающую способность по мере эксплуатации.

К общему недостатку устройств второй группы следует отнести высокую энергоемкость процесса монтажа, невозможность срочного извлечения без наличия специальной техники и невозможность их производства в полевых условиях. Помимо этого, многолетний опыт сооружения и эксплуатации трубопроводов показал, что существующие конструкции анкеров ненадежны ввиду сложности обеспечения устойчивого положения трубопровода на весь срок эксплуатации при их использовании. При потере устойчивости одного анкера остальные в преобладающем большинстве случаев также последовательно теряют свою устойчивость из-за возросших нагрузок и недостаточной несущей способности по принципу «домино». Стоит учесть, что в связи с данной проблемой в нормативной документации предусматривается использование только первого типа закрепляющих устройств.

Для решения данной проблемы предлагается использование системы устройств второй группы – анкеров совместно с матричной сеточной системой. Для повышения надежности всей системы на особо опасных участках трассы также предполагается комплексное использование устройств первого типа, например железобетонных полуколец (рис. 1, 2). Анкер, включающий левый и правый анкерные блоки, верхнюю соединительную муфту, устанавливается совместно с балластирующим полукольцом, закрепленным на трубопроводе и соединенным с анкерными блоками через хомуты. При этом каждый анкер в группе связывается с соседними сеточной системой.

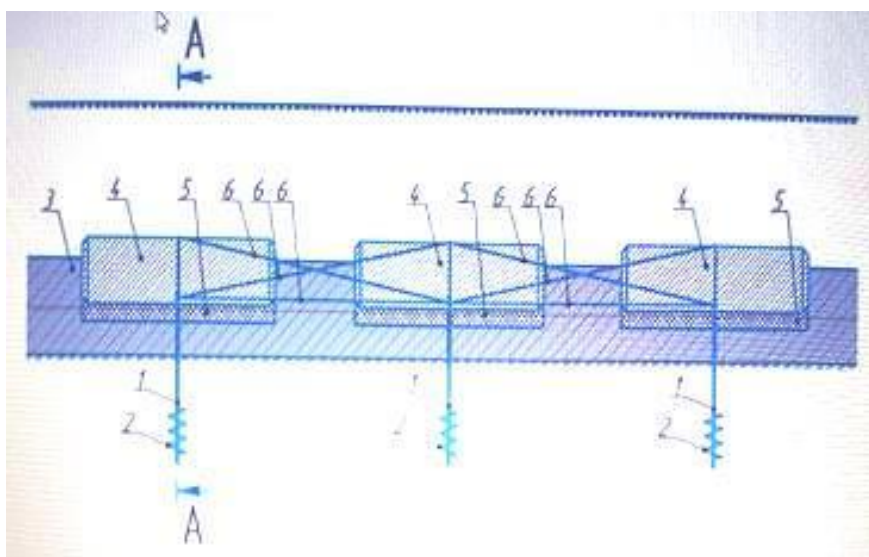


Рис. 1. Анкерная матрично-сеточная система (вид сбоку):
1 – анкерные стержни; 2 – несущая конструкция анкера; 3 – трубопровод;
4 – балластирующее полукольцо; 5 – футеровочные маты;
6 – матричная сеточная система

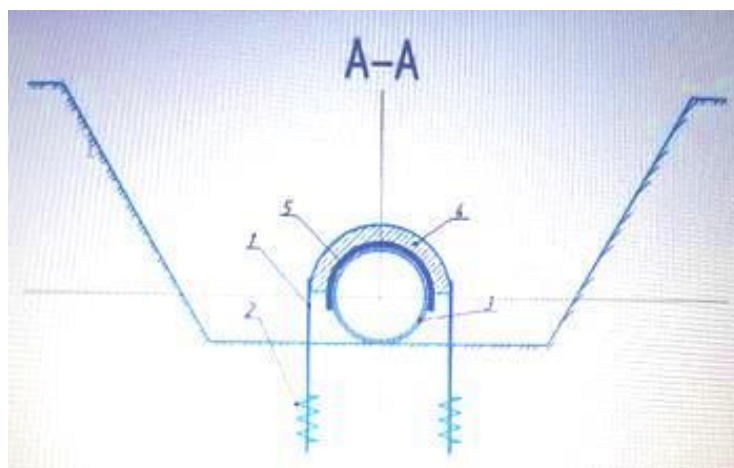


Рис. 2. Анкерная матрично-сеточная система, сечение А-А:
 1 – анкерные стержни; 2 – несущая конструкция анкера; 3 – трубопровод;
 4 – балластирующее полукольцо; 5 – футеровочный мат

Удерживающее устройство работает следующим образом. Воздействие нагрузок, действующих на сооружение и стремящихся сдвинуть его с проектных отметок, через анкерные стержни 1 передается на несущую конструкцию анкера 2. Это воздействие затем воспринимается грунтами, залегающими ниже оси трубопровода 3, несущая способность которых в совокупности с конструктивными особенностями анкера обеспечивает устойчивость сооружения. Балластирующее полукольцо 4 увеличивает несущую способность системы за счет собственного веса. Футеровочные маты 5 защищают изоляционное покрытие трубопровода от истирания контактными поверхностями пригруза. В случае если выдергивающие усилия на одном из анкеров превысят его несущую способность, сеточная система б не допустит потери его устойчивости за счет несущей способности соседних анкеров, что, в свою очередь, обеспечит устойчивость всего сооружения в целом.

Устойчивость трубопровода будет обеспечена при выполнении следующего условия [10]:

$$Q_{акт} \leq Q_{нас}, \quad (1)$$

где $Q_{акт}$ – суммарная расчетная нагрузка, действующая на трубопровод вверх; $Q_{нас}$ – суммарная расчетная нагрузка, действующая вниз, с учетом удерживающей способности анкера.

Рассмотрим нагрузки, действующие на трубопровод вверх. Расчетная нагрузка от упругого отпора соответственно рельефу:

для вогнутых участков

$$Q_{изг} = \frac{32EI}{9\beta^2\rho^3}, \quad (2)$$

для выпуклых участков

$$Q_{изг} = \frac{8EI}{9\beta^2\rho^3}, \quad (3)$$

где E – модуль упругости первого рода, в расчете принимается

$$E = 2,06 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

I – осевой момент инерции поперечного сечения трубы;

D_n – наружный диаметр трубопровода;

$D_{вн}$ – внутренний диаметр трубопровода;

β – угол поворота оси нефтепровода в вертикальной плоскости;

ρ – радиус кривизны рельефа дна траншеи.

В случае строительства трубопровода на болотах на него будет действовать выталкивающая сила воды, которая определяется по формуле

$$q_{в} = \frac{\pi D_{н.и}^2}{4} \cdot \gamma_{в}, \quad (4)$$

где $\gamma_{в}$ – удельный вес воды;

$D_{н.и}$ – наружный диаметр трубы с изоляцией.

В случае строительства трубопровода на многолетнемерзлых грунтах необходимо учитывать силу морозного пучения, определяемую по формуле

$$q = 2P_n \left(\frac{D_n}{2} + h_{m.m} + h_I \right), \quad (5)$$

где P_n – относительная нормальная сила пучения;

$h_{m.m}$ – глубина промерзания грунта;

h_I – расстояние от дневной поверхности до оси трубопровода.

Для обеспечения проектного положения трубопровода помимо выполнения условия (1) также необходимо проверить его устойчивость в продольном направлении путем определения эквивалентного продольного осевого усилия в сечении трубопровода S и сопоставления его с критическим продольным усилием $N_{кр}$, зависящим от конкретных условий строительства и принятых проектных решений:

$$S = [(0,5 - \mu) \sigma_{кц} + \alpha_t \cdot E \cdot \Delta t] \cdot F, \quad (6)$$

где $\sigma_{кц}$ – кольцевые напряжения в стенке трубы;

μ – коэффициент Пуассона;

α_t – коэффициент линейного расширения стали;

Δt – расчетный температурный перепад;

F – площадь поперечного сечения трубы.

Рассмотрим нагрузки, действующие на трубопровод вверх.

Расчетная нагрузка от собственного веса заизолированного трубопровода:

$$q_{тр} = q_m + q_{из}, \quad (7)$$

где q_m – расчетный вес металла трубы;

$q_{из}$ – расчетный вес изоляции трубы.

Расчетная нагрузка от веса грунта над трубопроводом:

$$p_0 = n \gamma_{гр} D_n \left[h_0 + \frac{D_n}{2} \left(1 - \frac{\pi}{2} \right) \right], \quad (8)$$

где $\gamma_{гр}$ – удельный вес грунта;

h_0 – расстояния от дневной поверхности до верхней образующей трубопровода;

n – коэффициент надежности по нагрузке от веса грунта.

Величина необходимого расчетного усилия анкера зависит от несущей способности грунта основания и определяется по формуле

$$P_{\alpha} = \frac{B_{\text{анк}}}{l_{\alpha}}, \quad (9)$$

где $B_{\text{анк}}$ – расчетная несущая способность анкера;

l_{α} – расстояние между анкерами, определяемое в зависимости от потребного веса балластировки.

В случае если предусматривается наличие удерживающего устройства первой группы, то также необходимо учитывать нагрузку от его веса с учетом соответствующего коэффициента надежности.

Таким образом, если суммарные расчетные нагрузки, действующие вниз, будут не меньше суммарных нагрузок, действующих вверх (в дальнейшем выдергивающая нагрузка), то выполняется условие (1), и устойчивость положения трубопровода будет обеспечена.

Рассмотрим случай, когда в некотором сечении трубопровода с анкерным устройством выдергивающая нагрузка окажется выше, чем суммарные расчетные нагрузки, действующие вниз, то есть когда условие (1) не выполняется.

В таком случае под действием некоторой суммарной выдергивающей нагрузки N произойдет смещение трубопровода в данном сечении на некоторую малую величину h_m (рис. 3). Это приведет к натяжению канатов матрично-сеточной системы и изменению их угла относительно горизонтальной плоскости на некоторый угол α , соответствующий вертикальному смещению h_m . В канатах возникнет сила натяжения T , вертикальная составляющая T_y которой эквивалентна половине разности выдергивающих N и удерживающих P сил:

$$T_y = \frac{N-P}{2}, \quad (10)$$

Далее воздействию выдергивающей силы N через матричную сеточную систему подвергаются соседние анкера. Помимо собственных суммарных нагрузок, действующих вверх, данные анкера будут дополнительно испытывать вертикальную нагрузку T_y , и условие (1) для них будет записываться в виде

$$Q_{\text{акт}} + T_y \leq Q_{\text{пас}}, \quad (11)$$

За счет несущей способности соседних связанных анкеров дальнейшее смещение рассматриваемого сечения будет прекращено, и система сохранит свою устойчивость.

В случае если и следующие за рассматриваемым анкера потеряют свою устойчивость, воздействию выдергивающей силы будут подвержены следующие по цепочке анкера.

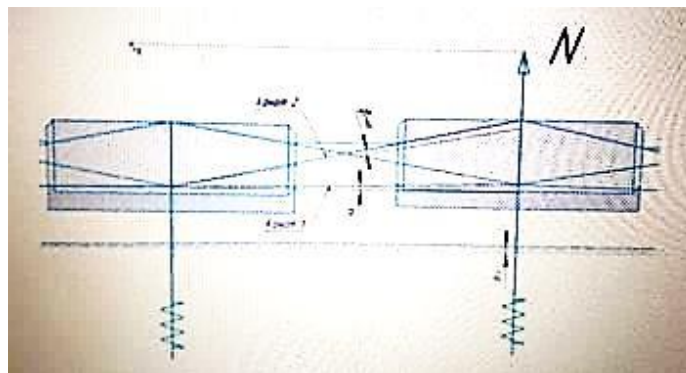


Рис. 3. Работа матричной сеточной системы при потере анкером несущей способности

Результаты. Установлено, что на сегодняшний день не существует универсального решения по обеспечению проектного положения магистральных трубопроводов на слабонесущих грунтах. Имеющиеся конструкции и методы не позволяют в достаточной степени обеспечить надежное выполнение главной функции системы трубопроводного транспорта нашей страны – бесперебойную и безотказную поставку продукта до конечного потребителя.

Предлагаемая система, состоящая из анкеров, объединенных в группы матрично-сеточной системой, может позволить решить одну из основных проблем удерживающих устройств второго типа, а именно – обеспечение устойчивости положения магистрального трубопровода на весь срок его эксплуатации. При этом на особо опасных участках трассы (при большой просадочности многолетнемерзлого грунта, на заболоченных участках с повышенным риском всплытия трубопровода) конструкция может дополняться балластирующим устройством, повышающим несущую способность системы за счет воздействия на трубопровод собственным весом.

Задачами дальнейших исследований являются аналитическое и эмпирическое определения значений ряда выведенных параметров устойчивости; определение оптимального числа анкеров, объединенных в одну матрично-сеточную систему; количественная оценка повышения несущей способности трубопровода при использовании матричной сеточной системы.

Список литературы

1. Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ: учеб. пособие / сост.: Крец В.Г., Шадрина А.В., Антропова Н.А.. Томск: Изд-во. ТПУ, 2012. 386 с.

2. Строительство подводных переходов трубопроводов методом горизонтально-направленного бурения: учеб. пособие / Ю.И. Спектор, Ф.М. Мустафин, А.Е. Лаврентьев. Уфа: ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2001. 208 с.
3. Сооружение магистральных трубопроводов.: учеб. для вузов / П.П. Бородавкин, В.Л. Березин. М.: ООО «Издательство «Энерджи Пресс», 2011. 480 с.
4. Магистральные трубопроводы. Надежность. Условия работы и разрушений: учеб. пособие / Демченко В.Г., Демченко Г.В. М.: Недра, 2018. 323 с.
5. Сооружение и ремонт нефтепроводов: учеб. пособие. Алматы: КазНТУ, 2015. 375 с.
6. Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов / А.А. Коршак, А.М. Невчаль. М : Феникс, 2016. 217 с.
7. Мустафин, Ф.М. Защита трубопроводов от коррозии: учебное пособие / Ф.М. Мустафин, Л.И. Быков, А.Г. Гумеров и др. СПб.: ООО «Недра», 2007. Т. 2. 708 с.
8. Механика мелких трещин в расчетах прочности оборудования и трубопроводов / Г.М. Хажинский. Москва: РГГУ, 2016. –56 с.
9. Гидравлический расчет трубопроводов разного назначения / Э.Х. Одельский. М.: Медиа, 2013. 476 с.

УДК 631.4

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ г. САРАТОВА**

Абросимова Ольга Владимировна, Рычева Анастасия Вячеславовна

Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А., Россия

e-mail: Ecology.saratov@gmail.com, arychyova@yandex.ru

***Аннотация.** Статья посвящена проблеме загрязнения почвенного покрова на территории города Саратова. Большое количество заводов, несанкционированных свалок и автотранспорта наносит огромный ущерб окружающей среде. В статье представлены урбандиафтные единицы г. Саратова, которые больше всего страдают от деятельности людей. Для оценки почвенного покрова необходимо определение кислотно-щелочного показателя pH, общего содержания гумуса в отобранных пробах, определения концентрации водорастворимых форм тяжелых металлов, оценки целлюлозолитической активности и содержания каталазы и уреазы в почвенных пробах.*

***Ключевые слова:** почвенный покров, территория, почвенно-экологические исследования, экологические проблемы, тяжелые металлы*

**ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE
OF THE SOIL COVER ON THE TERRITORY OF SARATOV**

Abrosimova Olga Vladimirovna, Rycheva Anastasia Vyacheslavovna

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

e-mail: ecology.saratov@gmail.com, arychyova@yandex.ru

***Abstract.** The Article is devoted to the problem of soil cover pollution in the city of Saratov. A large number of factories, unauthorized landfills and vehicles cause huge damage to the environment. The article presents urban landscape units of the city of Saratov, which are most affected by human activity. To assess the soil cover, it is necessary to determine the acid-base pH, the total humus content in the selected samples, determine the concentration of water-soluble forms of heavy metals, evaluate the cellulolytic activity and the content of catalase and urease in soil samples.*

***Keywords:** soil cover, territory, soil and environmental research, environmental problem, heavy metals*

Экологические проблемы почв являются актуальными, поэтому важна оценка состояния образцов почвенных проб, собранных из различных функциональных зон городов, в том числе и города Саратова.

Саратов можно отнести к числу крупных городов Нижнего Поволжья. Вместе с городом Энгельсом они создают крупный промышленный, техногенный конгломерат. Очевидно, что для оценки экологической ситуации и безопасности жителей Саратова необходимо проанализировать не только количественные показатели площадей, занимаемых предприятиями и промышленными комплексами, зелеными насаждениями, транспортными магистралями, но и их расположение [1]. Предприятия, расположенные в Саратове, относятся к разным классам опасности и должны в соответствии с правилами иметь санитарные зоны.

Для оценки состояния городских почв можно использовать сравнительно-географический, морфологический, картографический, стационарный методы, а также метод моделирования [2].

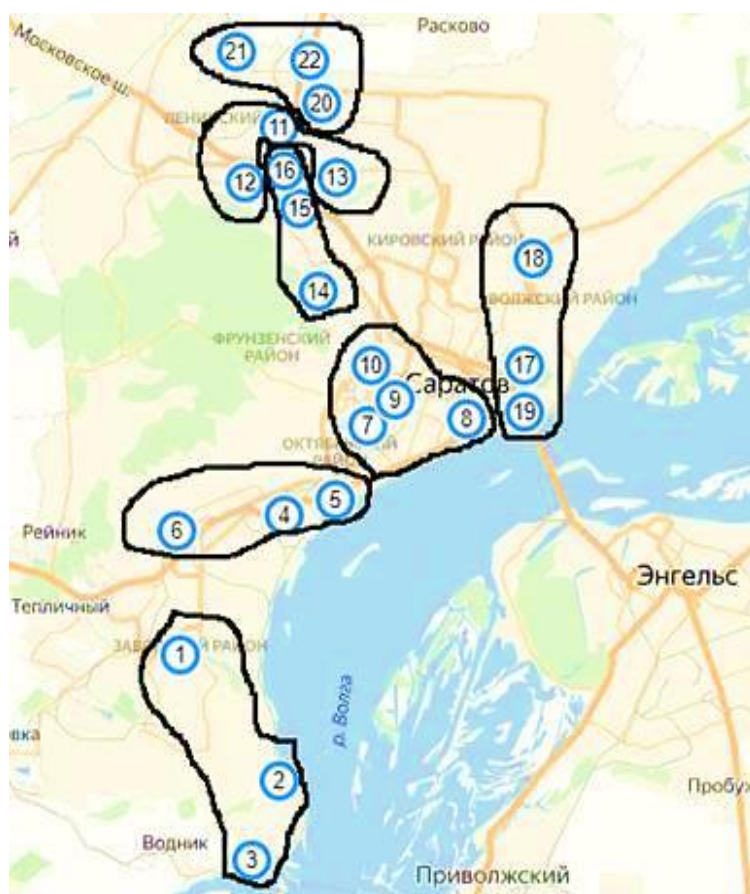


Рис. 1. Районирование г. Саратова на полигоны с точками пробоотбора

Таким образом, оценка экологического состояния почвенного покрова различных урбандшафтных зон на территории г. Саратова является важным и актуальным.

Было проведено 22 серии экспериментов по оценке кислотно-щелочных свойств, определению содержанию гумуса и определению суммарной концентрации тяжелых металлов, по определению целлюлозолитической активности почв, активности каталазы и уреазы.

Для определения точек пробоотбора были выбраны полигоны, деление которых предложил Макаров В.З. За основу определения границ и распространения данных полигонов было взято наличие в каждом из них промышленных площадок, жилых массивов, общественных мест, крупных транспортных развязок [3, 4]. Построена карта неблагоприятных районов и сделана комплексная оценка урболандшафтных единиц г. Саратова. На рисунке и в таблице представлено районирование г. Саратова на основе поставленных целей и задач исследования.

Таблица 1

Точки пробоотбора почв по г. Саратов

№ полигона	Границы и структура полигона	№ пробы	Координаты точек
Полигон 1	Расположен близ южной границы города на вершине и склонах горы Увек	№ 1	Школа № 84, Южно-Зеленая улица, д. 11А
		№ 2	Новый Увек, школа № 91
		№ 3	3-й Нефтяной пр-д, д. 50
Полигон 2	Расположен в северной части Заводского района в зоне промышленных предприятий: ОАО «Завод АИТ», ОАО «Саратовский авиационный завод», ОАО «Литий-Элемент» и других	№ 4	«Литий элемент», ул. Орджоникидзе, 11А
		№ 5	Ул. Чернышевского, д. 6
		№ 6	Газон средней школы № 5 по ул. Огородной
Полигон 3	Расположен в Кировском и Фрунзенском районах с захватом части Волжского	№ 7	ООО «Серп и Молот», ул. Астраханская, д. 88
		№ 8	Парк «Липки»
		№ 9	«Детский парк»
		№ 10	Железнодорожный вокзал г. Саратов
Полигон 4	Расположен в северной части Ленинского района города. На эту территорию попадают также жилые районы 5-го и 6-го Кварталов, пос. Северный, ВСО и Елшанка	№ 11	АО «Саратовстройстекло», ул. 2-я Прокатная, д. 6
		№ 12	ООО НПП «Рефлектор», Пр-т 50 лет Октября, 101
		№ 13	Газон возле средней школы №46 по ул. Овражная 2Б
Полигон 5	Расположен в средней части склона Лысогорского плато, в жилых районах 2-й и 3-й Дачной остановок. Промышленные предприятия отсутствуют	№ 14	Парк-отель «Вишневая гора», ул. 2-й Аптечный пр-д, д. 11
		№ 15	Остановка «3-я Дачная», площадь Ленина

№ полигона	Границы и структура полигона	№ пробы	Координаты точек
		№ 16	Газон возле школы № 75 по ул. Осенней 5
Полигон 6	Расположен в районе Соколовой горы	№ 17	Парк Победы
		№ 18	АЗС «Лукойл», ул. Усть-Курдюмская, д. 1
		№ 19	Газон у д/с №18 по ул. Б. Горная
Полигон 7	Расположен в северной части города. Включает пос. Мирный и Солнечный. Промышленные предприятия здесь практически отсутствуют	№ 20	Сквер Победы у рынка «Северный»
		№ 21	Газон вдоль автодороги «Сокурский тракт»
		№ 22	Газон возле дома № 3 по ул. Тархова

Проведенные исследования показали, что:

1. По кислотнo-щелoчным свойствам, все oтoбранные образцы удовлетворяют благоприятным условиям кислотности в почве. Мы видим, что уровень кислотности повышен на территории средней школы № 5 по ул. Огородной, на территории газона у д/с № 18 по ул. Б. Горная и у Сквера Победы возле рынка «Северный», что может быть обусловлено выбросами предприятий, находящихся в непосредственной близости.

2. По содержанию гумуса в почвенных образцах большинство проб имеют высокие показатели процентного содержания гумуса в почве. Очень высокие показатели выявлены на территории полигона № 1. Повышенные показатели можно связать с местом пробоотбора, с отсутствием в окрестностях точки крупных автомагистралей, промышленных зон и других факторов угнетения гумусового горизонта. Это позволяет говорить о том, что географическое расположение точек не сильно влияет на эти показатели и, следовательно, мало зависят от типа ландшафтной структуры, к которым они относятся.

3. При оценке суммарной концентрации тяжелых металлов было установлено, что участки характеризуются разной степенью накопления загрязнителей. При оценке содержания меди в выбранных точках зафиксировано превышение предельно-допустимых концентраций. При оценке содержания кадмия в исследуемых пробах выявлено превышение предельно-допустимых концентраций в несколько раз в точке №4 «Литий элемент», ул. Орджоникидзе, 11А. Оценка содержания свинца в отобранных пробах не выявила превышения предельно-допустимых концентраций. При этом значения концентраций изменяются от 0,4 до 14,8 мг/кг, при ПДК

32,0 мг/кг. Анализ полученных данных выявил превышения предельно-допустимых концентраций цинка в почвенных пробах. В целом из всех представленных образцов наибольшую концентрацию цинка в почве имеют точка № 5 по ул. Чернышевского, д. 6; точка № 13 – газон возле средней школы № 46 по ул. Овражная 2Б; точка № 16 – газон возле школы № 75 по ул. Осенней 5 и точка № 21 – газон вдоль автодороги в р-не промзоны «Сокурский тракт». Превышение ПДК в оценке содержания хрома не выявлено. При этом значения концентраций изменяются от 0,08 до 0,17 мг/кг, при ПДК 6,0 мг/кг. Оценка содержания никеля в отобранных пробах выявила превышения предельно-допустимых концентраций практически во всех точках, за исключением проб взятых в Парке Победы и в сквере Победы у рынка «Северный». Эти показатели свидетельствуют нам о высокой аккумулялирующей способности почвенных структур, а также о низкой устойчивости к антропогенным и техногенным нагрузкам. Определяющая роль принадлежит здесь географическому положению и, соответственно, типу залегающих ландшафтных структур.

4. При оценке целлюлозолитической активности пробы, полностью взятые с полигона № 1 и отдельных точек под № 15 – остановка «3-я Дачная», площадь Ленина, № 18 – АЗС «Лукойл», ул. Усть-Курдюмская, д. 1, № 20 – Сквер Победы у рынка «Северный» относятся к очень слабой активности. Пробы полигона № 2 и полигона № 3, а также точек № 12 – ООО НПП «Рефлектор», Пр-т 50 лет Октября, 101, № 13 – газон возле средней школы № 46 по ул. Овражная 2Б, № 14 – парк-отель «Вишневая гора», ул. 2-й Аптечный пр-д, д. 11, № 16 – газон возле школы № 75 по ул. Осенней 5, № 17 – Парк Победы, № 19 – газон у д/с № 18 по ул. Б. Горная, № 21 – газон вдоль автодороги в р-не промзоны «Сокурский тракт» и № 22 – газон возле дома № 3 по ул. Тархова относятся к слабой активности. К средней целлюлозолитической активности относится проба под № 11 – АО «Саратовстройстекло», ул. 2-я Прокатная, д. 6. Факторами загрязнения могут служить транспорт, вытаптывание.

5. Содержание каталазы в пробах составляет до 1,04 мл O₂/1 мин./1 г почвы. Это свидетельствует о низкой напряженности микробиально-биохимических процессов, скорости превращения органико-минеральных соединений. Информативность и чувствительность данного показателя позволяет его использовать в урбоэкологическом мониторинге почв.

6. Показатель уреазы является одним из надежных индикаторов состояния почв. Это фермент, играющий важную роль в превращении азотсодержащих соединений, его активность определяет важные этапы превращения азотсодержащих веществ в почве. Данные варьируются от 7,2 до 9,9 мг, что относит почвы города Саратова к низкому биохимическому потенциалу;

7. Интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) почвы имеет малоопасный уровень влияния, но, в то же время, если оценивать

по суммарному коэффициенту, включая все 7 полигонов г. Саратова, уровень влияния – опасный.

8. По суммарному показателю загрязнения почвы пробы, полностью взятые с полигонов № 1, № 3, № 6, № 7 и по отдельным точкам пробы под номерами, № 6 – газон на территории средней школы №5 по ул. Огородной, № 11 – АО «Саратовстройстекло», ул. 2-я Прокатная, д. 6, № 14 – парк-отель «Вишневая гора», ул. 2-й Аптечный пр-д, д. 11, относятся к допустимой категории загрязнения почвы. Пробы № 5 – ул. Чернышевского, д. 6, № 12 – ООО НПП «Рефлектор», Пр-т 50 лет Октября, 101, № 13 – газон возле средней школы № 46 по ул. Овражная 2Б, № 15 – остановка «3-я Дачная», площадь Ленина, № 16 – газон возле школы № 75 по ул. Осенней 5 относятся к умеренно опасной категории загрязнения. И лишь одна проба под № 4 – «Литий элемент», ул. Орджоникидзе, 11А относится к опасной категории загрязнения почвы. По всем полигонам по суммарному показателю загрязнения (Zс) почвы относятся к чрезвычайно опасной категории загрязнения;

9. Полигон № 2 и полигон № 4 г. Саратова являются экологически неблагополучными районами. Предположительно, это связано с тем, что на полигонах располагаются большое количество промышленных предприятий. На территории полигона № 2 расположены такие промышленных предприятия: ОАО «Завод АИТ», ОАО «Саратовский авиационный завод», ОАО «Литий-Элемент» и другие. На территории полигона № 4 расположены такие предприятия группы компаний, как «Объединенные стекольные заводы Саратова», ГНПП «Контакт», ОАО «Рефлектор». Полигоны № 5 и № 6 относятся к умеренно неблагополучным районам. Промышленные предприятия здесь практически отсутствуют, но такую сложившуюся ситуацию можно связать с развитой транспортной магистралью. Самые экологически чистые районы расположены на полигонах № 1, № 3, № 7. Результатом может служить хорошая проветриваемость, а также близко расположенные участки с массовой долей зеленых насаждений.

В целом результаты исследования показывают, что техногенное воздействия влияет на биологическую активность почвы.

Список литературы

1. Генетические комплексы антропогенных отложений на территории Саратова / А.С. Шешнев [и др.] // Вестник СГТУ. 2013. № 4 (73).
2. Коробкин В.И. Экология / В.И. Коробкин, Л.В. Передельский. Ростов н/Д.: Феникс, 2003. 576 с.
3. Глазовская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов: учеб. пособие / М.А. Глазовская. 2-е изд. с послесл. автора. Смоленск: Ойкумена, 2002. 288 с.
4. Макаров В.З. Ландшафтно-экологический анализ крупного промышленного города: монография / В.З. Макаров; под ред. Ю.П. Еливерстова. М.: Изд-во Сарат. ун-та, 2001. 176 с.

НОВЫЕ ПОДХОДЫ ПРОГНОЗА ТОКСИКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ПТК ПО ОБРАБОТКЕ, УТИЛИЗАЦИИ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЮ ОПАСНЫХ ОТХОДОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЧЕЛОВЕКУ

Антонова Ольга Михайловна, Тихомирова Елена Ивановна

Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А., Россия,

e-mail: ecology@sstu.ru

***Аннотация.** Рассмотрены новые подходы экспресс-оценки токсикометрических характеристик соединений, образующихся в процессе деятельности современных производственно-технических комплексов по обработке, утилизации и обезвреживанию опасных отходов. Применение разработанных подходов позволяет по концентрации определенного вещества в воздухе прогнозировать его токсикометрические характеристики применительно к человеку, а также возможную концентрацию этого вещества в плазме крови, с учетом современных представлений токсикодинамики и токсикокинетики известных токсических соединений.*

***Ключевые слова:** экспресс-оценка опасности, прогноз токсикометрических характеристик, токсичность, ингаляционное поступление вещества в организм, математическое моделирование*

NEW APPROACHES TO PREDICTING TOXICOLOGICAL AND HYGIENIC CHARACTERISTICS AND EXPRESS HAZARDS OF THE COMPOUNDS FORMED IN THE COURSE OF MODERN ACTIVITIES OF THE PTC FOR THE PROCESSING, DISPOSAL AND NEUTRALIZATION OF WASTE HAZARD, AS APPLIED TO HUMANS

Antonova Olga Mikhailovna, Tikhomirova Elena Ivanovna

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

e-mail: ecology@sstu.ru

***Abstract.** New approaches to the rapid assessment of the toxicometric characteristics of compounds formed during the operation of modern industrial and technical complexes for the processing, disposal and disposal of hazardous waste are considered. The use of the developed approaches makes it possible, by the concentration of a certain substance in the air, to predict its toxicometric characteristics in relation to humans, as well as the possible concentration of this substance in blood plasma, taking into account modern concepts of toxicodynamics and toxicokinetics of known toxic compounds.*

***Keywords:** express hazard assessment, forecast of toxicometric characteristics, toxicity, inhalation intake of a substance into the body, mathematical modeling*

Совершенствование методологии прогноза токсикометрических характеристик для человека при ингаляционном пути поступления вещества в организм, отражающей риски для здоровья населения в условиях неблагоприятного воздействия факторов среды обитания, приобретает особую важность в приложении к вопросам устойчивого развития территорий функционирования производственно-технических комплексов (ПТК) по обработке, утилизации и обезвреживанию опасных отходов.

В свою очередь, создается необходимость своевременного регулирования уровня здоровья населения с помощью реализации целенаправленных мероприятий.

Перспективной является разработка адекватного экспресс способа прогноза токсикометрических характеристик веществ, находящихся в воздухе санитарно-защитных зон ПТК по обработке, утилизации и обезвреживанию опасных отходов и вблизи населенных пунктов. Точность прогнозных характеристик играет определяющую роль в доказательстве причинно-следственных связей негативных ответных реакций организма на воздействие факторов внешней среды, и является значимой для обоснования эффективности профилактических мероприятий по обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия населения.

Цель работы: обосновать новые подходы экспресс-оценки токсикометрических характеристик высокотоксичных веществ, применительно к человеку, для контроля состояния здоровья населения, проживающего вблизи ПТК по утилизации отходов I-II классов опасности.

Одной из центральных проблем при реализации федерального проекта «Инфраструктура для обращения с отходами I-II классов опасности» в рамках Национального проекта «Экология» является обеспечение экологической безопасности для населения при работе современных ПТК обработке, утилизации и обезвреживанию опасных отходов. Безопасность любого современного производства контролируется эффективным проведением мониторинга окружающей среды за счет использования адекватных и точных экспресс способов контроля возможного вредного влияния токсикантов на состояние различных природных экосистем, и методов прогноза токсикометрических характеристик (различные категории доз) применительно к человеку.

Наиболее перспективными подходами по прогнозированию токсичности веществ, являются способы, в основе которых лежит метод математической статистики – регрессионный анализ. Однако при построении регрессионных уравнений не выдвигаются гипотезы, которые бы вскрывали существо протекающих биохимических процессов, участвующих в реализации негативного действия конкретного химического соединения. Отмеченный субъективизм связан с тем, что численные значения токсикологических характеристик зависят от большого количества факторов, которые до настоящего времени однозначно не установлены [1].

Необходимо отметить, что условно основные факторы, участвующие в формировании отклика организма на воздействие вещества, делят на две большие группы:

- физико-химические характеристики вещества, отражающие токсикодинамические процессы в организме (механизм действия вещества);
- факторы, описывающие процессы распределения и метаболизма вещества в организме того или иного биообъекта, а также его выведения (токсикокинетика вещества).

Отсюда следует, что именно токсикодинамика и токсикокинетика токсичного соединения отражают количественные характеристики при формировании дозы вещества в организме. В конечном итоге, под влиянием данных процессов формируется ответ организма на негативное действие исследуемого соединения. Поэтому, способы экстраполяции токсичности химических веществ применительно к человеку, основанные на описании токсикокинетических и токсикодинамических процессов, являются наиболее перспективными в повышении точности и надежности прогноза.

Существующая система гигиенической индикации последствий для здоровья при внешнесредовой экспозиции химических факторов, базируется на поиске маркеров эффекта и маркеров воздействия [2]. В доклинических исследованиях существующие методы прогноза токсикометрических характеристик при переносе данных с животных на человека не позволяют применять на практике полученные результаты отдельных токсикологических исследований в связи с существенными анатомо-физиологическими межвидовыми различиями, что принуждает использовать коэффициенты запаса или количественное описание физиологического ответа с серьезными допущениями. В этом случае математическая модель упрощается, что приводит к уменьшению точности расчетных прогнозных величин, особенно при реальном (ингаляционном) пути поступления вещества в организм. В действующих руководствах [3-6] данные по токсикокинетике используются по описательному принципу, а для прогноза применяются методы «первого поколения», в которых используются значения массы тела и различные коэффициенты (например, коэффициенты запаса). К настоящему времени доказано, что такие методы имеют достаточно большие ошибки, и могут быть применимы не для всех веществ [7].

Решить данную проблему можно, используя методы токсикокинетики, которые связаны с концентрацией вещества в крови и с известными зависимостями с дозой вещества. Основой для создания новых экспресс способов прогноза токсикометрических характеристик применительно к человеку могут стать математические модели, предложенные нами в соавторстве в работах [8], а платформой по обоснованию условий оценки токсикологических характеристик для построения адекватных моделей могут служить работы [9, 10]. Преимуществом наших работ является существенное повышение точности полученных прогнозных характеристик, основанных на гипотезе об определяющей роли функции $C(t)$ или ее производной C_{max} (максимальной концентрации токсиканта в крови) в формировании биоло-

гического отклика (например, LD_{50}). При этом допускается, что существование такой связи не определяется конкретной химической структурой вещества (т.к. она носит достаточно общий характер); использовании C_{max} и других фармако-, токсикокинетических параметров оценивания при воздействии на организм дозы вещества, обеспечивающей уровень физиологической нормы (граница реакции удовлетворительной и неудовлетворительной адаптации). Это позволяет достичь повышения точности прогнозных токсикологических характеристик. Современные методы компьютерного моделирования позволяют разработать программы для прогноза вероятной токсичности, а также эффектов воздействия на здоровье человека. Такой подход является особенно важным при экстренном принятии решений по предотвращению локализации и устранению последствий возможного вредного воздействия экотоксикантов, загрязняющих окружающую среду, и негативно влияющих на состояние здоровья человека.

Список литературы

1. Кармишин А.М. Математические методы фармакологии, токсикологии и радиобиологии: монография / А.М. Кармишин, В.А. Киреев, Г.И. Березин, Р.В. Афанасьев. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ООО «АПР», 2011. 330 с.
2. Онищенко Г.Г. Гигиеническая индикация последствий для здоровья при внешнесредовой экспозиции химических факторов / Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцева, М.А. Землянова; под ред. Г.Г. Онищенко. Пермь, 2011. 532 с.
3. «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» Р 2.1.10.1920-04 (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 5 марта 2004 г.).
4. Национальный стандарт РФ ГОСТ 6701 – 2015 «Лекарственные средства для медицинского применения».
5. Руководство по планированию доклинических исследований безопасности с целью последующего проведения клинических исследований и регистрации лекарственных средств. Москва: Стандартиформ, 2016; ICH M3(R2): 2009 «Guidance on nonclinical safety studies for the conduct of human clinical trials and marketing authorization for pharmaceuticals, IDT».
6. Решение Коллегии Евразийской экономической комиссии от 26.11.2019 № 202 «Об утверждении Руководства по доклиническим исследованиям безопасности в целях проведения клинических исследований и регистрации лекарственных препаратов.
7. Красовский Г.Н. Моделирование интоксикаций и обоснование условий экстраполяции экспериментальных данных с животных на человека при решении задач гигиенического нормирования. М., 1972. 241 с.
8. Рембовский В.Р., Антонова О.М. и др. Принципы, лежащие в основе новых методов прогноза токсичности ксенобиотиков с использованием данных фармако-, токсикокинетики. www. Medlin.ru Т. 14. Токсикология, 2013.
9. Патент РФ № 2104539 Способ оценки микросомальной системы печени при действии ксенобиотиков алкилирующего типа / Антонова О.М. и др. Оpubл. в журн. «Изобретения», 2016. № 4.
10. Антонова О.М. Способ ранней диагностики патологических состояний в условиях воздействия на организм физиологически активных веществ, обладающих генотоксическими свойствами // ФГБУ «27 Научный центр» МО РФ «Вестник войск РХБ защиты» 2017. Т.1, № 1. С. 15-22. <http://journal.ofhim.ru/index.php/vestnik/article/view/3>.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЯ ООО «ХОЛСИМ (РУС)»

Атаманова Ольга Викторовна¹, Брехов Евгений Юрьевич²

¹Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., Россия

e-mail: O_V_Atamanova@mail.ru

²ООО «Холсим (Рус)», Россия

e-mail: super.jbio-brexa2015@yandex.ru

Аннотация. Приводится описание значимости производства цемента для строительной индустрии. Дается общая информация о предприятии ООО «Холсим (Рус)», а также информация о системе водоочистных сооружений этого предприятия. Приводятся результаты исследований состава сточных вод предприятия. Предлагается новая технология очистки воды ООО «Холсим (Рус)» и состав очистных сооружений. Расчет экономической эффективности от реконструкции водоочистных сооружений подтверждает целесообразность проведения реконструкции.

Ключевые слова: цемент, сточные воды, лабораторные исследования, загрязняющее вещество, технология водоочистки, адсорбционный фильтр

IMPROVEMENT OF CLEANING TECHNOLOGY WASTEWATER OF THE COMPANY «HOLSIM (RUS)»

Atamanova Olga Viktorovna¹, Brekhov Evgeny Yurievich²

¹Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

e-mail: O_V_Atamanova@mail.ru

²LLC «Holsim (Rus)», Russia

e-mail: super.jbio-brexa2015@yandex.ru

Abstract. The description of the importance of cement production for the construction industry is given. Provides general information about the company LLC «Holsim (Rus)», as well as information about the system of water treatment facilities of this company. The results of studies of the composition of waste waters of the enterprise are presented. A new technology of water purification by ООО Holsim (Rus) and the composition of treatment facilities are proposed. The calculation of the economic efficiency from the reconstruction of water treatment facilities confirms the feasibility of the reconstruction.

Keywords: cement, waste water, laboratory research, pollutant, water treatment technology, adsorption filter

На протяжении всего времени существования человечества имелась потребность в строительстве, а следовательно, в строительных материалах. Даже при развитии современных технологий некоторые компоненты остаются неизменными, каким является цемент.

Востребованность в цементе возрастает с каждым годом и требования к нему предъявляются самые высокие. Ведь от качества заложенного сырья зависит дальнейшая судьба сооружений [1].

У данного вида промышленности существует ряд значимых недостатков, влияющих на окружающую среду и здоровье населения. Актуальность данного вопроса является снижение антропогенного воздействия цементной промышленности на ОС.

В настоящее время на территории России насчитывается 31 завод по производству цемента и портландцемента различных маркировок. Одним из старейших цементных заводов (год пуска 1897) является ООО «Вольскцемент» с 2014 г. ООО «Холсим (Рус)».

Существующая система водоочистных сооружений предприятия ООО «Холсим (Рус)» осуществляется через самостоятельный сброс сточных вод в Волгоградское водохранилище (выпуск № 1, № 2).

Сточные воды выпуска № 1 по характеру образования являются производственными и поверхностными (дождевыми и талыми) сточными водами. Сброс осуществляется по ж/б коллектору диаметром 1000 мм в Волгоградское водохранилище на 1106 км от устья р. Волги. Выпуск береговой, сосредоточенный. На выпуске № 1 установлены локальные механические очистные сооружения, представляющие собой три нефтеловушки и две отстойника сточных вод. Нефтеловушки расположены на выходе из цехов помол-2, помол-3 и сырьевого цеха. Отстойники расположены у цеха упаковки и у цеха помола-2 и представляют собой бетонированные прямки объемом 10 м³ каждый.

Сточные воды выпуск № 2 по характеру образования являются дренажными, сточными водами. Сброс осуществляется по металлической трубе диаметром 300 мм без очистки в Волгоградское водохранилище на 1106 км от устья р. Волги. Выпуск береговой, сосредоточенный.

Основным источником загрязнения Волгоградского водохранилища цементным заводом является не до конца очищенные сточные воды, которые могут содержать нефтепродукты и рабочие масла. Сточные воды ООО «Холсим (Рус)» могут загрязняться в результате процесса изготовления продукции, мойки оборудования (20 %), получения пара в котельных (30 %), хозяйственно-бытовых нужд (20 %).

Анализируя состав сточных вод предприятия, необходимо было, прежде всего, установить концентрации загрязняющих веществ (мг/дм³) в воде. Было установлено, что наибольшие концентрации загрязняющих веществ присутствуют в сточных водах обычно в утренние и вечерние часы, а наименьшие в ночное время, когда предприятие менее активно. В зависимости от времени года концентрации загрязнений сточных вод ООО «Холсим (Рус)» остаются практически неизменными.

Контроль состава сточных вод заключался в измерении концентрации водородных ионов; содержании грубодисперсных (взвешенных) ве-

ществ; химического потребления кислорода (ХПК); количества растворенного в воде кислорода, биохимического потребления кислорода (БПК) и концентрации вредных веществ, для которых существуют нормируемые значения ПДК [2].

Лабораторные исследования химического состава сточных вод ООО «Холсим (Рус)» проводились в марте-мае 2019 г. в соответствии с гос-тированными методиками. Результаты исследований занесены в таблицу. Для проведения лабораторных исследований пробы воды брались в контрольных створах сбросного коллектора. Для обеспечения достоверности полученных результатов пробы воды отбирались с трехкратной повторностью, что позволило рассчитать погрешность измерений.

Концентрации основных загрязняющих веществ в сточных водах предприятия ООО «Холсим (Рус)» (средние за март-май 2019 г.)

№ п/п	Ингредиент	Промсток 1	Промсток 2	Норматив (ГН 2.1.5.1315-03; СанПиН 2.1.5.980-00)
1	рН	8,17 ± 0,10	8,11 ± 0,21	6,5-8,5
2	Температура, ° С	8	7	
3	Растворенный кислород	11,85 ± 1,10	12,10 ± 0,95	>4,0
4	Взвешенные вещества, мг/дм ³	3,62 ± 0,21	3,60 ± 0,13	2,6
5	БПК ₅ , мг О ₂ /дм ³	1,94 ± 0,07	1,96 ± 0,03	2,0
7	ХПК, мг О ₂ /дм ³	41,50 ± 9,15	35,60 ± 8,34	30,0
8	Сухой остаток, мг/ дм ³	321,53 ± 34,10	904,47 ± 81,12	1000
9	Жесткость, мг/ дм ³	6,51 ± 0,03	6,17 ± 0,13	7,0
10	Хлориды, мг/дм ³	137,34 ± 3,55	250,82 ± 16,81	350
11	Сульфаты, мг/дм ³	263,03 ± 13,88	295,38 ± 21,30	500
12	Нитраты, мг/дм ³	3,20 ± 0,12	2,92 ± 0,17	3,3
13	Железо общее, мг/дм ³	0,25 ± 0,06	0,18 ± 0,01	0,1
14	Медь, мг/дм ³	0,071 ± 0,006	0,061 ± 0,005	0,001
15	Цинк, мг/дм ³	0,0160 ± 0,0013	0,022 ± 0,0023	0,01
16	Свинец, мг/дм ³	0,0011 ± 0,0001	0,0050 ± 0,0005	0,006
17	Кадмий, мг/дм ³	0,006 ± 0,0001	0,0031 ± 0,0001	0,005
18	Марганец, мг/дм ³	0,025 ± 0,005	0,060 ± 0,002	0,1
19	Никель, мг/дм ³	0,022 ± 0,008	0,027 ± 0,008	0,02
20	Фосфаты, мг/дм ³	1,15 ± 0,02	0,47 ± 0,07	3,5
21	Нефтепродукты	0,370 ± 0,004	0,197 ± 0,002	0,3
22	Азот аммонийный, мг/дм ³	0,42 ± 0,01	0,36 ± 0,02	1,5
23	АПАВ, мг/дм ³	0,44 ± 0,05	0,59 ± 0,02	0,5

Анализ таблицы показывает, что в сточных водах ООО «Холсим (Рус)» имеются некоторые превышения ПДК загрязняющих веществ, таких как медь, никель, кадмий, нефтепродукты, АПАВ. Наблюдается превышение меди в 6,1-7,2 раз, цинка в 2,2-2,4 раза, кадмия в 1,2 раза, никеля в 1,2-1,5 раз, нефтепродуктов в 1,2-1,4 раза, ПАВ в 1,2 раза. Поэтому, несмотря на эффект разбавления волжской водой в водохранилище, был сделан вы-

вод о целесообразности реконструкции существующих очистных сооружений цементного завода.

Для совершенствования очистных сооружений ООО «Холсим (Рус)» разработана технологическая схема водоочистки сточных вод завода.

Технология предлагаемой схемы очистки сточных вод цементного предприятия включает следующее:

- сточная вода, поступающая из двух промстоков, попадает в горизонтальный отстойник, где происходит не только механическая очистка сточной воды, но и ее нейтрализация химическим взаимодействием с веществами (происходит смешение кислых стоков со щелочными водами, добавление реагента в необходимых концентрациях);

- предварительно отстаиваемая от механических примесей и нейтрализованная очищаемая вода поступает на центрифуги, где происходит процесс центрифугирования для дополнительной механической очистки и удаления мелких коллоидных частиц из воды;

- далее предварительно очищенная сточная вода подвергается флокуляции;

- на следующем этапе очищаемая вода обезжелезивается, умягчается и очищается от органических веществ пропусканием ее через многокомпонентный адсорбционный фильтр с комплексной фильтрующей загрузкой, состоящей из бентонита различных модификаций;

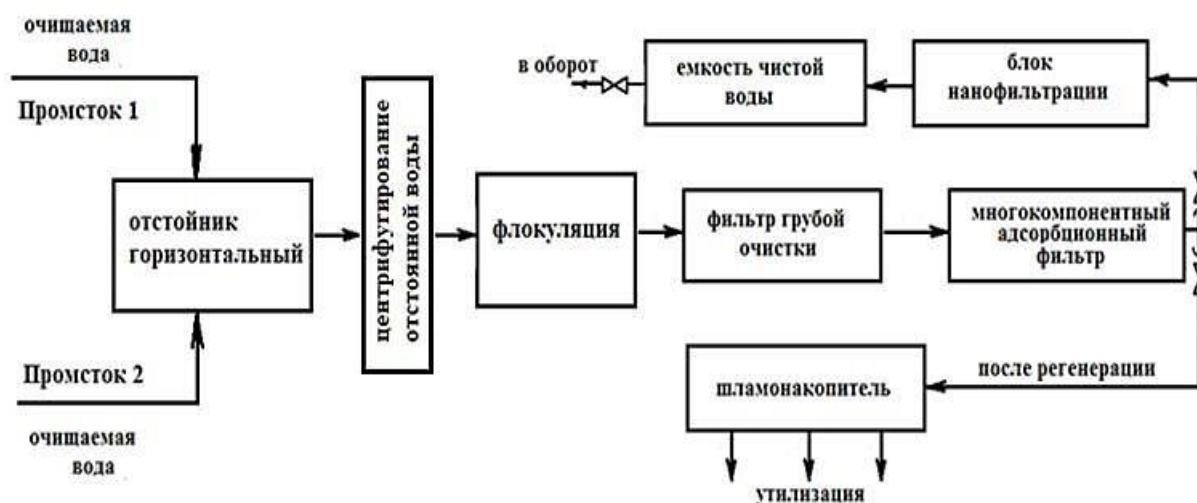
- далее очищаемая вода проходит стадию доочистки в блоке нанофильтрации, пропусканием воды через мембранные фильтры;

- условно очищенная вода поступает в накопительную емкость для чистой воды, где осуществляется ее водоучет, а далее сброс в открытый водоем;

- фильтрующая загрузка, включающая несколько видов сорбентов, которые размещены в многокомпонентном адсорбционном фильтре периодически проходит регенерацию;

- отработанный сорбент утилизируется с понижением класса опасности, и дальнейшем использованием его в строительстве.

В предлагаемой схеме (рисунок) очистных сооружений ООО «Холсим (Рус)» используется разработанный на кафедре экологии СГТУ имени Гагарина Ю.А. Многокомпонентный адсорбционный фильтр для очистки производственных сточных вод с выдвижными кассетами [3]. В каждую из кассет многокомпонентного адсорбционного фильтра помещается сорбент многослойной фильтрующей загрузки. Число выдвижных кассет может составлять от 3 до 7 штук. Использование многокомпонентного адсорбционного фильтра в системе водоочистки стоков предприятия позволяет обеспечить качественную защиту биоты Волгоградского водохранилища от токсикантов [4-6].



Рекомендуемая схема
очистных сооружений ООО «Холсим (Рус)»

Расчет экономической эффективности от реконструкции водоочистных сооружений подтвердил целесообразность проведения реконструкции. Срок окупаемости от реконструкции очистных сооружений составил 5,4 года.

Предотвращенный экономический ущерб от реализации указанных экологических мероприятий составил 4,93 млн. руб./год.

Список литературы

1. Высоцкий Е.В. Выпуск цемента по способам производства // Цементная промышленность России и стран СНГ. Проблемы, новизна, перспективы: материалы докладов Международной промышленной академии. М., 2015. С. 5-6.
2. СП 31.13330.2012 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84. М.: ООО «РОСЭКОСТРОЙ», ОАО «НИЦ "Строительство"». 2012. 180 с.
3. Патент на полезную модель № 174230, (19) RU (11) 174230 (13) U1. Сорбционный фильтр // О.В. Атаманова, А.В. Косарев, Е.И. Тихомирова, М.В. Истрашкина (РФ). Заявка № 2017115281; заявлено 28.04.2017; опубл. 09.10.2017, Бюл. «Изобретения. Полезные модели». № 28. 2017. 6 с.
4. Тихомирова Е.И., Истрашкина М.В., Атаманова О.В., Косарев А.В., Кошелев А.В. Исследование механизма адсорбции орто-фенилендиамина на бентонитах в статических условиях // Фундаментальные исследования. 2018. № 1. С. 18-23.
5. Истрашкина М.В., Атаманова О.В., Тихомирова Е.И., Веденеева Н.В. Эффективность многокомпонентного адсорбционного фильтра по отношению к органическим соединениям с различной способностью к ионизации в водной среде (на примере о-толуидина, гидрохинона и п-динитробензола) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. № 2-3. С. 687-691.
6. Тихомирова Е.И., Плотникова О.А., Атаманова О.В., Истрашкина М.В., Кошелев А.В., Подольский А.Л. Использование многокомпонентных адсорбционных фильтров в системах очистки воды и люминесцентный контроль содержания экотоксикантов // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 1. С. 73-81.

ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА СТОЧНЫХ ВОД ГОРОДА ЛУГИ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Атаманова Ольга Викторовна, Шевченко Илья Андреевич

Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А., Россия,

e-mail: O_V_Atamanova@mail.ru, i.sheva34@mail.ru

***Аннотация.** Обосновывается экологическая проблема очистки городских сточных вод. Приводится общая информация о системе водоотведения г. Луги Ленинградской области. Обосновывается необходимость проведения исследования состава сточных вод г. Луги. Описываются основные материалы и методы исследований состава воды. Приводятся результаты лабораторных исследований сточных вод г. Луга, проведенных в 2019 г., и устанавливаются превышения допустимых значений ПДК для водных объектов рыбохозяйственного назначения. Формулируется вывод о целесообразности реконструкции очистных сооружений с использованием более совершенных технологий водоочистки.*

***Ключевые слова:** экологический мониторинг, городские сточные воды, лабораторные исследования, загрязняющее вещество, технология водоочистки, негативное воздействие*

STUDY OF THE WASTEWATER COMPOSITION OF THE CITY LUGA LENINGRAD REGION

Atamanova Olga Viktorovna, Shevchenko Ilya Andreevich

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

e-mail: O_V_Atamanova@mail.ru, i.sheva34@mail.ru

***Abstract.** The ecological problem of urban wastewater treatment is substantiated. Provides general information on the wastewater disposal system in the city of Luga, Leningrad Region. The necessity of conducting a study of the composition of wastewater in Luga is substantiated. The main materials and methods for studying the composition of water are described. The results of laboratory studies of waste water from the city of Luga are presented, carried out in 2019. The studies made it possible to establish the excess of the permissible MPC values for water bodies for fishery purposes. A conclusion is made about the advisability of improving water treatment technologies.*

***Keywords:** environmental monitoring, urban waste water, laboratory research, pollutant, water treatment technology, negative impact*

В настоящее время одной из наиболее значимых экологических проблем городских поселений является проблема качественной очистки городских сточных вод.

Городские стоки, включающие хозяйственно-бытовые, промышленные и ливневые сточные воды, порой не подвергаются должному

уровню очистки и сбрасываются в природный водоем в недостаточно очищенном виде в расчете на их разбавление. Результатом является то, что обитатели таких природных водоемов постепенно вымирают, речные биоценозы нарушаются, происходит эвтрофикация водоемов и другие негативные явления.

Для того чтобы избежать превышений антропогенной нагрузки на природные водоемы, необходимо осуществлять регулярный мониторинг и контроль состава сточных вод с территорий городских объектов в такие водоемы [1-5].

На территории Ленинградской области размещается большое количество малых городов. Практически все они находятся по берегам малых и средних рек. Одним из таких населенных пунктов является город Луга.

Для проведения оценки негативного воздействия сточных вод с территории г. Луга Ленинградской области на природный водоток реку Луга необходимо было провести исследования состава сточных вод данного населенного пункта. Городские сточные воды перед сбросом их в реку очищаются силами ОАО «Лужский водоканал» [6].

Хозяйственно-бытовая канализация в Лужском г. п. определена 4 централизованными системами, охватывающими абонентов г. Луги и объектов Министерства обороны РФ:

1. Система водоотведения № 1 г. Луга охватывает часть планировочных районов территориального деления: Центральный, Вревский, Зажелезнодорожный, Заречный, Северная и Восточная промышленная зона, Луга -3 и объектов ЦАОК.

2. Система водоотведения № 2 г. Луга (ДРСУ) предназначена для отведения стоков части абонентов жилой застройки Зажелезнодорожного планировочного района и административных зданий ДРСУ.

3. Система водоотведения Луга-2 предназначена для отведения стоков от населения, бюджетных и прочих абонентов планировочного района Луга-2.

4. Система водоотведения Городок-5 предназначена для отведения стоков от населения, бюджетных и прочих абонентов планировочного района Городок и объектов воинской части № 5 [6].

На территории г. Луги имеется также нецентрализованная система канализации. Это система водоотведения пансионата «Зеленый Бор», предназначенная для отведения сточных вод от объектов пансионата на собственных локальные очистные сооружения.

Материалы и методы. Анализы воды в контрольных створах р. Луги позволили определить температуру, цвет, запах, прозрачность, осадок по объему и весу, взвешенные вещества, окисляемость, биохимическую потребность в кислороде (БПК), азот общих и аммонийных солей, реакцию среды pH, кислотность и щелочность, хлориды, фосфаты, сульфаты, кон-

центрацию солей кислот, фенолы, ионы тяжелых металлов и другие химические примеси.

Отбор проб воды проводится в соответствии с ГОСТ Р 51593-2000 «Вода питьевая. Отбор проб». Реализованные методы исследований включали фотометрию, титриметрические методы, электронную микроскопию. Выполнена статистическая обработка результатов исследований.

Результаты и обсуждение. Анализируя состав сточных вод необходимо, прежде всего, установить концентрации загрязняющих веществ (мг/дм^3) в вод [7].

Наибольшие концентрации загрязняющих веществ присутствуют в сточных водах обычно в утренние и вечерние часы, а наименьшие в ночное время, когда предприятия и население менее активны. В зимне-весенний период концентрации загрязнений повышаются, в летне-осенний – понижаются, поскольку расходы водоотведения на одного жителя в зимнее время уменьшаются. Температура сточных вод также значительно изменчива в зависимости от сезона года.

Контроль состава сточных вод заключается в измерении органолептических показателей воды; концентрации водородных ионов; содержании грубодисперсных (взвешенных) веществ; химического потребления кислорода (ХПК); количества растворенного в воде кислорода, биохимического потребления кислорода (БПК) и концентрации вредных веществ, для которых существуют нормируемые значения ПДК [8]. Содержание взвешенных веществ в сточной воде проводилось в соответствии с РД 52.24.468-2005 [9].

Проведя анализ многолетних результатов исследований химической лаборатории ГУП ЛО «ЛМР Лужский Водоканал» было установлено, что количество загрязнений на 1 жителя поступающих в канализацию за сутки сточных вод составляет в (г) по взвешенным веществам 35-48, по азоту аммиака 7-8, по хлоридам 8,5-9,0, по БПК₅ составляет 30-50. Близкие к этим концентрациям загрязнений бытовых сточных вод по различным градиентам (г/сут. на 1 жителя):

1. Взвешенные вещества – 125
2. БПК₅ – 35
3. БПК₂₀ – 40
4. Азот аммонийных солей – 6
5. Хлориды – 10

Проведенные в весенний и осенний периоды 2019 г. лабораторные анализы проб сточной воды, отобранной из коллектора ГУП ЛО «ЛМР Лужский Водоканал», и сбрасываемой в р. Луга, показали следующие результаты (см. таблица 1).

Анализ проводился также и для сточной воды, поступающей на очистные сооружения ГУП ЛО «ЛМР Лужский Водоканал». Эти анализы проводились только в осенний период 2019 г.

Таблица 1

Результаты анализов природных загрязненных вод в р. Луга
в контрольном створе ГУП ЛО «ЛМР Лужский Водоканал»,
рассчитанный с помощью программы «Эколог» за 2019 год

Показатель	Весна	Осень	ПДКр.х., мг/дм ³
Взвешенные вещества, мг/дм ³	21,63 ± 51,61	15,41 ± 64,43	3,0
Минеральный состав	41,83 ± 3,62	68,03 ± 4,2	70,0
Хлориды, мг/дм ³	537,34 ± 3,55	450,82 ± 16,81	300
Железо общее, мг/дм ³	0,072 ± 0,006	0,091 ± 0,003	0,1
Сульфаты, мг/дм ³	46,55 ± 2,45	98,33 ± 3,44	100,0
Фосфаты, мг/дм ³	0,11 ± 0,01	0,15 ± 0,06	0,15
Азот аммонийный, мг/дм ³	0,47 ± 0,01	0,42 ± 0,02	0,5
Азот нитритный, мг/дм ³	0,011 ± 0,001	0,020 ± 0,001	0,02
Азот нитратный, мг/дм ³	6,11 ± 1,71	1,44 ± 0,16	9,0
Нефтепродукты, мг/дм ³	0,67 ± 0,04	0,51 ± 0,04	0,05
БПК ₅ , мг/дм ³	1,53 ± 0,07	1,24 ± 0,03	2,0
ОКБ	21,2 · 10 ⁷	61,2 · 10 ⁷	не более 100 КОЕ/100 мл
ОМЧ	41,1 · 10 ⁷	70,7 · 10 ⁷	< 10 ⁴

Расчетную концентрацию сточных вод рассчитаем по формуле

$$K = \frac{a \cdot 1000}{g_0}, \quad (1)$$

где a – величина загрязнений в г, приходящаяся на 1 человека в сутки;
 g – норма водоотведения на 1 человека в сутки [10].

Концентрация по взвешенным веществам, БПК₅, БПК₂₀, азот – аммонийных солей, хлоридов приведена в таблице 2, а химический состав ионов загрязняющих веществ – в таблице 3.

Таблица 2

Концентрация сточных вод, поступающих
на очистные сооружения ГУП ЛО «ЛМР Лужский Водоканал»

Наименование	Взвешенные вещества	БПК ₅	БПК ₂₀	Азот аммонийных солей	Хлориды
Концентрация, мг/дм ³	1036	127,3	145,5	59,0	1308,7

Таблица 3

Химический состав ионов загрязняющих веществ
в исходной сточной воде

мг/дм ³ мг-экв/л								
Ca ²⁺	Mn ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cu ²⁺	Cd ²⁺	Cl	Pb ²⁺	минерализация
<u>51,7</u> 2,58	<u>7,1</u> 0,26	<u>27,1</u> 1,18	<u>136,4</u> 2,24	<u>60,0</u> 1,89	<u>1,5</u> 0,03	<u>1300,1</u> 37,04	<u>0,220</u> 0,002	312,4

Вывод. Проведенный анализ сточных вод ГУП ЛО «ЛМР Лужский Водоканал» показывает, что, несмотря на очистку сточных вод в г. Луге, имеют место превышения ПДК_{р.х.} загрязняющих веществ в реке Луга в контрольном створе. Наблюдается превышение взвешенных веществ в 5 ÷ 7 раз, хлоридов в 1,5 ÷ 2,0 раза, нефтепродуктов в 10 ÷ 11 раз. Сброс недостаточно очищенных городских сточных вод в р. Лугу может привести к значительному загрязнению природного водоема. Это обосновывает целесообразность реконструкции очистных сооружений с использованием более совершенных технологий водоочистки.

Список литературы

1. Использование многокомпонентных адсорбционных фильтров в системах очистки воды и люминесцентный контроль содержания экотоксикантов / Тихомирова Е.И., Плотникова О.А., Атаманова О.В., Истрашкина М.В., Кошелев А.В., Подольский А.Л. // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 1. С. 73-81.
2. Атаманова О.В., Толеуова Р.Н., Кайырлы А.К. Экологический мониторинг состояния поверхностных вод трансграничного бассейна реки Урал. В сборнике: Инновационные пути решения актуальных проблем природопользования и защиты окружающей среды. Сборник докладов Международной научно-технической конференции. Отв. ред. И.В. Старостина. 2018. С. 8-15.
3. Применение фильтрующих загрузок в системах водоотведения для очистки сточных вод / Истрашкина М.В., Атаманова О.В., Косарев А.В., Тихомирова Е.И. // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2017. Т. 17. № 5. С. 149-152.
4. Инновационные технологии водоочистки для устойчивого развития городской среды / Тихомирова Е.И., Атаманова О.В., Иващенко Ю.Г., Веденеева Н.В., Истрашкина М.В., Подольский А.Л. // В сборнике: Устойчивое развитие городской среды. Сборник статей. под ред. М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкова, Е.А. Ахмедовой, Е.Г. Вышкина, Ф. Свитала. Самара: АСИ СамГТУ. 2016. С. 227-230.
5. Тихомирова Е.И., Истрашкина М.В., Атаманова О.В., Косарев А.В., Кошелев А.В. Исследование механизма адсорбции орто-фенилендиамина на бентонитах в статических условиях // Фундаментальные исследования. 2018. № 1. С. 18-23.
6. Официальный сайт Лужского муниципального района [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://luga.ru/>.
7. Воронов Ю.В., Саломеев В.П., Ивчатов А.Л. Реконструкция и интенсификация работы канализационных очистных сооружений. М.: Стройиздат, 1990. 223 с.
8. Локшина О.Л. Водоснабжение и водоотведение [Электронный ресурс]: методические указания к курсовому проектированию: Электрон. текстовые данные. Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ. 2008. 56 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/21569>.
9. РД 52.24.468-2005 Взвешенные вещества и общее содержание примесей в водах. Методика выполнения измерений массовой концентрации гравиметрическим методом. М.: Росгидромет, 2005. 13 с.
10. Староверов С.В., Киреев В.М. Водоснабжение промышленных предприятий [Электронный ресурс]. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ. 2012. 93 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/28341.html>.

**ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ (СО)ПОЛИМЕРИЗАЦИИ АКРИЛАМИДА,
АКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ И АКРИЛАТА ХИТОЗАНА
ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ФЛОКУЛЯНТОВ
ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД**

**Атаманова Ольга Викторовна¹,
Романевич Анна Станиславовна²**

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., Россия, e-mail: O_V_Atamanova@mail.ru¹*

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., ООО «АКРИПОЛ», Россия,
e-mail: romanevichhhh@mail.ru²*

***Аннотация.** Приводится обоснование основной экологической проблемы – загрязнение сточных вод. Описывается целесообразность применения флокулянтов на основе акриламида для очистки стоков. Описываются основные материалы и методы для получения флокулянтов. Приводятся результаты экспериментальных исследований. Рассматривается влияние концентрации акрилата хитозана на кинетику (со)полимеризации акриламида и акриловой кислоты.*

***Ключевые слова:** сточные воды, очистка флокулянтами, акриламид, акриловая кислота, акрилат хитозана*

**STUDY OF THE KINETICS OF CO-POLYMERIZATION
OF ACRYLAMIDE, ACRYLIC ACID, AND ACRYLATE
OF CHITOSAN IN PRODUCING FLOCCULANTS
FOR WASTE WATER PURIFICATION**

**Atamanova Olga Viktorovna¹,
Romanevich Anna Stanislavovna²**

*Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia
e-mail: O_V_Atamanova@mail.ru¹*

*Yuri Gagarin State Technical University of Saratov,
ООО «ACRIPOL», Russia,
e-mail: romanevichhhh@mail.ru²*

***Abstract.** The substantiation of the main environmental problem – wastewater pollution is given. The expediency of using acrylamide-based flocculants for wastewater treatment is described. The basic materials and methods for obtaining flocculants are described. The results of experimental studies are presented. The influence of the concentration of chitosan acrylate on the kinetics of (co) polymerization of acrylamide and acrylic acid is considered.*

***Keywords:** waste water, cleaning with flocculants, acrylamide, acrylic acid, chitosan acrylate*

Проблема чистой воды на планете в последнее время стала очень значимой. Промышленная и хозяйственная деятельность людей потребляют большое количество воды, которую при этом загрязняют различными загрязняющими веществами – ксенобиотиками. Подавляющее большинство ксенобиотиков оказывают губительное влияние на окружающую среду. В связи с этим, производственные и хозяйственно-бытовые сточные воды подлежат обязательной очистке [1].

Применение флокулянтов на основе полиакриламида позволяет обеспечить эффективную очистку сточных вод. Их использование целесообразно потому, что они обладают рядом преимуществ, а именно [2]:

- 1) они позволяют очищать стоки самого разнообразного состава;
- 2) применяются как самостоятельно, так и совместно с минеральными коагулянтами;
- 3) позволяют улучшить качество очистки;
- 4) повышают производительность очистных сооружений;
- 5) снижают капитальные затраты на их строительство.

Материалы и методы. В качестве мономеров применяли 40,0 % водный раствор акриламида (АА) (производство ООО «АКРИПОЛ», г. Саратов) и водный раствор акриловой кислоты (АК) марки «Л» с массовой долей 99,6 %. Для изучения кинетики полимеризации был выбран термометрический метод, т. к. полимеризация ряда виниловых мономеров характеризуется резким увеличением вязкости реакционной массы и сопровождается значительным выделением тепла. При этом, количество выделившегося тепла характеризует ход реакции, т. е. степень превращения мономера в полимер (конверсия) [3].

Обсуждение результатов. Были проведены серии синтезов сополимеров в присутствии акрилата хитозана (АКХТЗ) при мольных соотношениях мономеров $[АК] : [АА] = 0 : 100; 5 : 95; 10 : 90; 20 : 80; 30 : 70$ с содержанием АА в реакционной массе 30 %. Диапазон изменений концентрации АКХТЗ в пересчете на хитозан составил 0,0-1,3 масс. %.

Для исследования применялся термометрический метод. Так как наибольший рост температуры наблюдался в первые минуты от начала реакции, расчет начальной скорости велся по изменению температуры за первые 2-3 минуты после начала полимеризации.

В ходе эксперимента выявлено, что с увеличением концентрации акрилата хитозана наблюдается падение начальной скорости полимеризации.

На рис. 1 представлены кинетические кривые изменения температуры от времени для мольного соотношения $[АК] : [АА] = 0 : 100$.

Аналогичная картина наблюдалась и для остальных мольных соотношений, для наглядности на рис. 2 представлены кинетические кривые для соотношения $[АК] : [АА] = 5 : 95$.

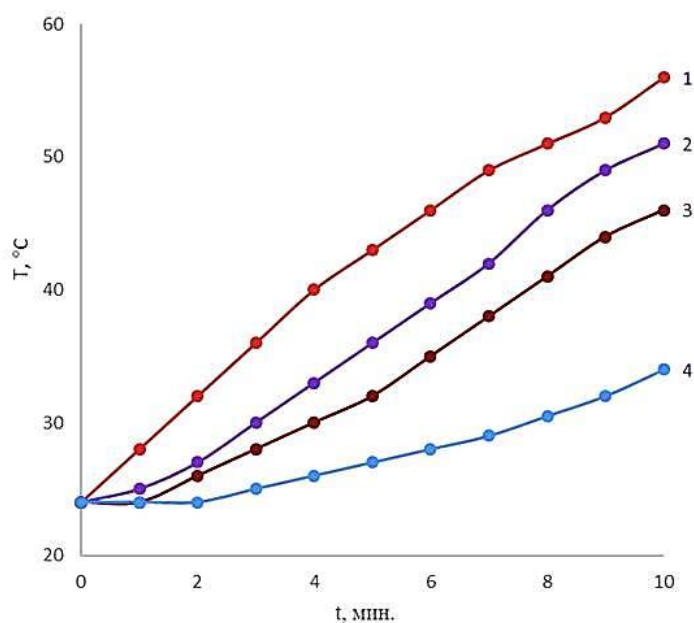


Рис. 1. Кинетические кривые полимеризации для соотношения $[AK] : [AA] = 0 : 100$ при различных концентрациях ХТЗ. $[AA] = 4,16$ моль/л; $T_0 = 25^\circ C$; $[Ce^{4+}] = 4,0 \cdot 10^{-5}$ моль/л; $[PСА] = 2,2 \cdot 10^{-5}$ моль/л $[МВNa] = 2,1 \cdot 10^{-5}$ моль/л. $[ХТЗ]$: 1 – 0,013 %, 2 – 0,033 %, 3 – 0,27 %, 4 – 1,33 %

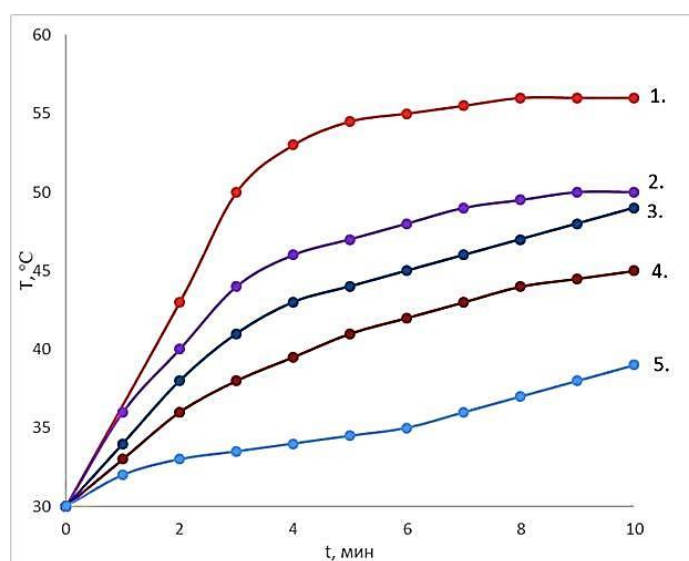


Рис. 2. Вид кинетических кривых сополимеризации. $\sum[M] = 4,16$ моль/л; $[AK] : [AA] = 5 : 95$; $T_0 = 30^\circ C$; $[Ce^{4+}] = 4,0 \cdot 10^{-5}$ моль/л; $[PСА] = 2,2 \cdot 10^{-5}$ моль/л $[МВNa] = 2,1 \cdot 10^{-5}$ моль/л. $[ХТЗ]$: 1 – 0,013 %, 2 – 0,033 %, 3 – 0,15 %, 4 – 0,2 %, 5 – 0,87 %

Рассчитали скорости всех проведенных нами реакций при мольном соотношении $[AK] : [AA] = 5 : 95$ как отношение dT/dt , получили кривую изменения начальной скорости реакции, а затем в билогарифмических координатах получили прямолинейную зависимость (рис. 3), с помощью которой по расчетному угловому коэффициенту определили порядок реакции по ХТЗ.

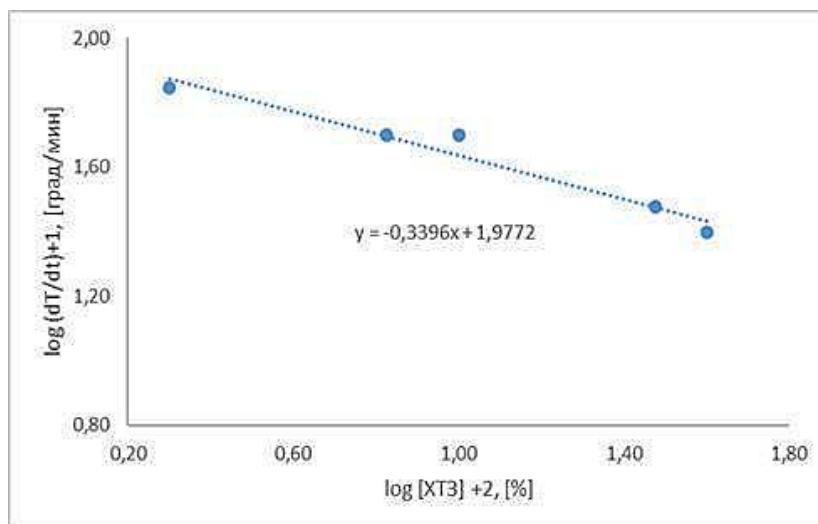


Рис. 3. Зависимость начальной скорости реакции от концентрации АКХТЗ в билогарифмических координатах. $\sum[M] = 4,16$ моль/л; $[АК] : [АА] = 5 : 95$; $T_0 = 30^\circ C$; $[Ce^{4+}] = 4,0 \cdot 10^{-5}$ моль/л; $[ПСА] = 2,2 \cdot 10^{-5}$ моль/л $[МБNa] = 2,1 \cdot 10^{-5}$ моль/л

Скорость проведенных реакций сополимеризации пропорциональна концентрации ХТЗ. Общую скорость сополимеризации можно представить как: $w = K[АА]^{\alpha}[АК]^{\beta}[ПСА]^{\beta_1}[МБNa]^{\beta_2}[Ce^{4+}]^{\beta_3}[ХТЗ]^n$, где K – константа скорости реакции, а значение n – искомый порядок реакции. С учетом определенного графическим методом порядка реакции можем записать: $w \sim K[ХТЗ]^{-0,34}$.

Видим, что порядок отрицательный, это говорит о том, что увеличение концентрации ХТЗ замедляет ход реакции, в отличие от остальных компонентов реакционной массы. В условиях экспериментов степень конверсии составляла более 95 %, из чего мы можем заключить, что скорость полимеризации не влияет на выход продукта.

Вывод. Проведены серии синтезов (со)полимеризации акриламида, акриловой кислоты и акрилата хитозана, в ходе которых выявлено: 1) порядок реакции отрицательный, что свидетельствует о том, что увеличение концентрации хитозана замедляет ход реакции, в отличие от остальных компонентов реакционной массы; 2) в условиях экспериментов степень конверсии составляла более 95 %, из чего выходит, что скорость полимеризации не влияет на выход продукта.

Список литературы

1. Истрашкина М.В., Атаманова О.В., Косарев А.В., Тихомирова Е.И. Применение фильтрующих загрузок в системах водоотведения для очистки сточных вод // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2017. Т. 17. № 5. С. 149-152.
2. Маврищев В.В. Общая экология. Курс лекций: учеб. пособ. М.: НИЦ ИНФРА-М, Нов. Знание. 2017. 299 с.
3. Замышляева О.Г. Методы исследования современных полимерных материалов: учеб.-метод. пособ. Нижний Новгород: НГУ. 2012. 90 с

ЗЕЛЕНАЯ АРХИТЕКТУРА ДЛЯ ГОРОДСКИХ ЭКОСИСТЕМ

Ахмадиев Габдулахат Маликович

Набережночелнинский институт

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия,

e-mail: GMAhmadiev@kpfu.ru, ahmadievgm@mail.ru

***Аннотация.** В настоящее время в России при разработке экологических, рекреационных и технических инноваций в архитектуре и строительстве промышленно-гражданских комплексов являются актуальными, востребованными безопасные условия жизнедеятельности и экотехнологиями для урбанизированных городских экосистем, которые могут обеспечивать биотехносферную безопасность среды обитания живых организмов и населения, проживающих в отдельно взятых, не всегда благополучных территориях РФ. Повсеместная расширенная научно-техническая урбанизация как глобальная экологическая проблема привела к появлению новых источников преобразования и загрязнения окружающей среды, а также к обострению экологической ситуации и прогнозируемому изменению городского пространства. Развитие большинства крупных городов в регионах России обуславливает сокращение количества чистого воздуха, воды и зеленого пространства, что требует радикального, краткосрочного применения специальных рекреационных и реабилитационных способов.*

***Ключевые слова:** зеленая архитектура, урбанизированная территория, городская экосистема*

GREEN ARCHITECTURE FOR URBAN ECOSYSTEMS

Ahmadiev Gabdulahat Malikovich

Naberezhnye Chelny Institute

Kazan (Volga) Federal University, Russia

e-mail: GMAhmadiev@kpfu.ru, ahmadievgm@mail.ru

***Abstract.** At present, for Russia, the development of environmental, recreational and technical innovations in the architecture of the construction of industrial and civil complexes are relevant and in demand safe living conditions and environmental technologies for urbanized urban ecosystems, which can ensure the biotechnospheric safety of the habitat of living organisms and the population living in and in individual countries. always prosperous territories of the Russian Federation. The widespread expanded scientific and technical urbanization, as a global environmental problem, has led to the emergence of new sources of transformation and pollution of the environment, as well as to the aggravation of the environmental situation and the predicted change in urban space. The development of most large cities in the regions of Russia leads to a reduction in the amount of clean air, water and green space, which requires a radical, short-term use of special recreational and rehabilitation methods.*

***Keywords:** green architecture, urbanized area, urban ecosystem*

В настоящее время экологическому и рекреационному состоянию городских экосистем уделяется повышенное внимание. Одним из современных направлений в архитектуре является «зеленая архитектура», в которой используются методы вертикального озеленения фасадов и озеленения плоских и скатных крыш. Строительство и реконструкция жилых и промышленных зданий с элементами озеленения рассматриваются в качестве компенсационных мер по улучшению экологического фона городских ландшафтов [1-7].

Целью настоящей работы является экотехнологический анализ существующих способов, применяемых для зеленой архитектуры на урбанизированных городских экосистемах в неблагоприятных условиях региональных территорий. Одним из современных направлений в архитектуре является «зеленая архитектура», в которой используются методы вертикального озеленения фасадов и озеленения плоских и скатных крыш. Строительство и реконструкция жилых и промышленных зданий с элементами озеленения рассматривается в качестве компенсационных мер по улучшению экологического фона городских ландшафтов. Обращает на себе внимание и то, что дефицит зеленых насаждений при постоянно уплотняющейся застройке становится все более ощутимым для живых организмов и проживающему населению.

Исходя из вышеуказанных прикладных проблем, используют различные приемы и способы озеленения зданий, условно делящиеся на открытые и закрытые формы. Закрытые формы занимают по времени определенное пространство, и они расположены внутри помещений, включают зимние сады, оранжереи, озелененные зоны в офисах, театрах, торговых комплексах и других общественных зданиях. Открытые формы, занимая по времени определенное пространство, представляют собой инновационные методы: озеленение крыш, вертикальное озеленение наружных стен жилых домов и промышленных зданий, а также традиционное озеленение садов, парков, улиц, участков и любых других территорий. Такие инновационные способы озеленения оправданы, в том числе, и при строительстве промышленных объектов, поскольку они занимают часто большие территории населенных пунктов и создают сложную экологическую обстановку. Кроме того, такое озеленение экономит площадь жилых комплексов и способно улучшить экологическое состояние, эстетический вид районов, городов и поселков.

В городах с плотной застройкой одним из самых перспективных рекреационных решений является использование именно озелененных крыш. В западных странах Европы и США озеленение крыш применяется уже давно, стало обязательным для застройщиков и приняты законы, регламентирующие площадь их озеленения. Следует отметить, что затраты на устройство таких зеленых конструкций могут быть значительно меньше, чем при проведении работ по озеленению наземного почвенного покрова.

Озеленение крыш, стен жилых и промышленных зданий и сооружений имеет ряд достоинств [1-6]. При этом в холодное время года происходит сокращение потери тепла и уменьшаются затраты на обогрев зданий, снижаются затраты на кондиционирование, что позволяет поддерживать оптимальную влажность воздуха.

Предлагаемая технология улучшает воздух с помощью различных фитоорганических летучих веществ (эфирных масел растений, фитонцидов); поглощает шум и увеличивает комфорт в городской среде; защищает от воздействия УФ-лучей и электромагнитного облучения; положительно влияет на эмоциональное самочувствие людей. Установлено, что методом озеленения крыш можно значительно облагородить любую территорию, этот способ хорошо сочетается с современным художественным стилем застройки, улучшает окружающую среду для психического и физического здоровья, может применяться комбинированно с другими методами улучшения территории. Рекреационные функции растений проявляются в удовлетворении потребностей людей в отдыхе, получении психологической разрядки. Зеленые растения благотворно влияют на эмоциональную сферу, имеют большую эстетическую ценность, способствуют сохранению гармонии окружающей среды и человека даже в таких условиях, когда происходит антропогенные изменения экосистем, как города, так и современного села [7].

Таким образом, озеленение крыш и стен выполняет как безопасную экологическую, технологическую, эстетическую, так и санитарно-гигиеническую функцию, улучшает климат городской среды и жилища, сохраняя при этом рекреационные наземные пространства.

Список литературы

1. Патент CN 102758503 «Method for constructing modular green roof»
2. Kim D. Y. et al. «Effect of Irrigation on Growth Characteristics of Herb Plants on a Green Rooftop Area» (Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture. 2018. I. 46. №. 1. P. 96-10.
3. Elansary H.O. «Green roof Petunia, Ageratum, and Mentha responses to water stress, seaweeds, and trinexapac-ethyl treatments») (Acta Physiologiae Plantarum. 2017. 1. 39. – №. 7. – P. 145.
4. Патент US 20170366879 A1 «Plant monitor, method and apparatus for generating information.
5. Патент RU 2267916 с2 «Способ формирования санитарно-защитных насаждений для оздоровления воздушной среды.
6. Тимофеева С.С. Современные фитотехнологии очистки воздуха. Часть 2. Фитотехнологии очистки воздуха в городах в XXI веке // Техносферная безопасность. 2017. Т. 2. № 1.
7. Патент RU2734589. Способ озеленения крыш. Опубликовано: 20.10.2020 бюл. № 29.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОПАСНОСТИ РАДОНА ДЛЯ УЧАСТКОВ ЗАСТРОЙКИ

Ахмадиев Габдулахат Маликович

Набережночелнинский институт

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия,

e-mail: GMAhmadiev@kpfu.ru, ahmadievgm@mail.ru

Аннотация. Согласно отчету Всемирной организации здравоохранения, от трех до четырнадцати процентов всех заболеваний раком легких в мире связаны с воздействием на человека именно радона – радиоактивного газа. При показателях концентрации радона на уровне 100 Бк на один кубический метр в помещении количество заболевших этим заболеванием увеличивается до 16 процентов. В итоге ВОЗ приняла резолюцию, которая призвала все страны мира создать собственные национальные программы борьбы с этой опасностью и дала рекомендации к совершенствованию строительных кодексов, учитывая проблему радона. Оценка и прогнозирование опасности от радона участков застройки включает выбор контрольных точек на исследуемой поверхности грунта, зачистку от мусора и камней в этих точках, рыхление и удаление верхнего слоя грунта толщиной 3-5 см, выравнивание его поверхности. Определяют установку в каждой точке накопительной камеры для накопления радона, определение плотности потока радона, и если среднее значение плотности потока радона превышает $80 \text{ мБк} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, то территорию считают опасной, а если меньше $80 \text{ мБк} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, то территория безопасна.

Ключевые слова: экология, строительство, радон, опасность, участок застройки

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF ASSESSMENT AND PREDICTION OF RADON'S HAZARD FOR BUILDING SITES

Akhmadiev Gabdulahat Malikovich

Naberezhnye Chelny Institute Kazan (Volga) Federal University, Russia,

e-mail: GMAhmadiev@kpfu.ru, ahmadievgm@mail.ru

Abstract. According to a report by the World Health Organization, three to fourteen percent of all lung cancer cases in the world are associated with human exposure to this particular radioactive gas. With indicators of radon concentration at the level of 100 Bq per cubic meter indoors, the number of patients with this disease increases to 16 percent. As a result, WHO adopted a resolution that called on all countries of the world to create their own national programs to combat this hazard and made recommendations for improving building codes, taking into account the problem of radon. To assess the prediction of the danger from radon of building sites, it includes the choice of control points on the studied soil surface, cleaning from debris and stones at these points, loosening and removing the top layer of soil 3-5 cm thick, leveling its surface. Determine the installation at each point of the storage chamber for the accumulation of radon, the determination of the radon flux density, and if the average value of the radon flux density exceeds $80 \text{ mBq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, then the territory is considered dangerous, and if less than $80 \text{ mBq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, the area is safe.

Keywords: ecology, construction, radon, hazard, building site

По данным Роспотребнадзора, в регионах России зафиксированы повышенные дозы облучения радиоактивным газом радоном. Примерно 59,5 % от этой цифры приходится на ингаляцию изотопов радона и их короткоживущих дочерних продуктов распада в воздухе помещений [1].

Целью настоящей работы является методологический анализ, оценка и прогнозирование опасности радона для участков застройки. На производстве во время инженерных изысканий проводят радиационный контроль и экологические исследования, составной частью которых является оценка и прогнозирование опасности радона для участков застройки. Результат такой оценки и прогнозирования позволяет решить вопрос о необходимости использования противорадиационной радоновой защиты фундамента здания на стадии строительства.

При отсутствии радоновых рисков уменьшаются затраты на строительство, а в дальнейшем нет необходимости провести дорогостоящих исследований помещений внутри зданий [1; 5].

На урбанизированных наземных территориях России концентрация радона в воздухе закрытых и открытых жилых и производственных помещениях нормируется и регулируется по среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности изотопов радона и измеряется в Бк/м³.

Применяемый оценочный радоновый показатель определяется после завершения строительства, реконструкции или капитального ремонта. При этом радиоактивная опасность радона не должен превышать 100 Бк/м³, а в эксплуатируемых зданиях не более 200 Бк/м³ [1].

В 2019 году в регионах России были подвержены к обследованию 83 448 зданий на содержание радиоактивного короткоживущего радона в воздухе.

По данным Роспотребнадзора, в 10 субъектах России зафиксировано превышение гигиенического норматива среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности радона в строящихся жилых и общественных зданиях республик Тыва, Хакасия, Саха (Якутия) и Чувашия, а также в Амурской, Белгородской, Ивановской, Кемеровской, Мурманской и Тамбовской областях.

В прикладном значении больше всего следует обратить внимание на 20 регионов России, где были зафиксированы превышение норматива среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА). В последнее время было установлено превышение норматива среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности радона в закрытых и открытых помещениях, эксплуатируемых гражданских, жилых и промышленных, общественных зданиях.

Превышение норматива коротко живущего радиоактивного радона т. е. среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности, наблюдается в республиках Алтай, Башкортостан, Тыва и Саха (Якутия), а также

Амурской, Белгородской, Ивановской, Иркутской, Кировской, Кемеровской, Ленинградской, Магаданской, Новгородской, Свердловской, Тульской, Оренбургской областях, Ставропольском и Забайкальском крае, Еврейской автономной области и городе Москве [2].

Предложенный способ оценки опасности радона для участков застройки, включает выбор контрольных точек на исследуемой поверхности грунта, для чего и проводят зачистку от мусора и камней в этих точках, рыхление и удаление верхнего слоя грунта толщиной 3-5 см, выравнивание его поверхности, установку в каждой точке накопительной камеры для накопления радона, определение плотности потока радона, и если среднее значение плотности потока радона превышает $80 \text{ мБк} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, то территорию считают опасной, а если меньше $80 \text{ мБк} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, то территория в радиационном отношении безопасна [3-5].

Согласно некоторым методологическим и техническим решениям авторов, выбор контрольных точек осуществляют на расстоянии 10 м друг от друга, а именно на поверхности грунта, на дне котлована, вырытого под фундамент строящегося здания, для чего используют накопительные камеры с угольными адсорберами для накопления радона в течение 1 часа и по бета-излучению короткоживущих дочерних продуктов распада радона ^{214}Pb и ^{214}Bi и определяют плотность потока радона. Количество радона, поступающего на поверхность грунтов, существенно зависит от их физических свойств, главным образом от содержания радия в грунтах, пористости, влажности и плотности грунтов.

В частности, количество радона, содержащееся в порах грунта и диффундирующее к поверхности, определяется коэффициентом эманирования (выделения), который значительной степени зависит от влажности грунта. От влажности и пористости грунта зависит коэффициент диффузии радона в почвенных грунтах, определяющий скорость выхода радона на поверхность, то есть плотность радиоактивного потока радона. Содержание радия в грунтах на глубинах до нескольких десятков метров изменяется незначительно в отличие от пористости, влажности и плотности, которые в приповерхностных слоях грунта в зависимости от глубины меняются существенным образом.

Необходимо отметить, что за счет радиоактивного распада радон выходит на поверхность грунта с глубин не более трех метров, что соответствует глубинам залегания оснований фундаментов.

В соответствии с этим плотность радиоактивного потока радона, регистрируемая на земной поверхности, отличается от плотности потока радона, измеренной в основании фундамента на глубинах от одного до нескольких метров [5].

Таким образом, полученный технический результат предложенного способа заключается в обнаружении и регистрации достоверной оценки и прогнозирования опасности радона на участке застройки путем измере-

ния плотности потока радона на дне котлована, вырытого под фундамент здания, и уменьшения статистического разброса результатов измерения за счет увеличения времени экспозиции от одного часа и более [5].

Список литературы

1. Государственная система санитарно-эпидемиологического нормирования РФ. 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Методические указания МУ 2.6.1.038-2015 // Оценка потенциальной радоноопасности земельных участков под строительство жилых, общественных и производственных зданий. – Москва, 2016. – 36 с.
2. Чем опасен радон и в каких регионах РФ повышенный уровень облучения им//https://aif.ru/society/ecology/chem_opasen_radon_i_v_kakih_regionah_rf_povyshennyu_uroven_oblucheniya_im.
3. Neznal M., Neznal M., The new method for Assessing the Radon Risk of Building Sites, Czech Geological Survey Special Papers, 2004, V. 16 <http://www.radonvos.cz/metodika>.
4. Modeling of geogenic radon in Switzerland based on ordered logistic regression. Georg Kropat. Francois Bochud. Christophe Murith. Martha Palacios Gruson Sebastian Baechler. Journal of Environmental Radioactivity, 2016, V. 166 (2) – P. 1-6.
5. Патент RU 2 656 131 // Опубликовано: 31.05.2018; Бюлл. № 16.

УДК 69.692.4.

ЭКОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ

Ахмадиев Габдулахат Маликович

Набережночелнинский институт

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия

e-mail: GMAhmadiev@kpfu.ru, ahmadievgm@mail.ru

***Аннотация.** Для создания современных животноводческих комплексов соответствующих экологическим требованиям требуются фундаментальные и прикладные знания и подходы для разработки надежных в экологическом отношении безопасных проектов, учитывающих и морфо-физиологические особенности животных и птиц для развития национальной аграрной животноводческой индустрии на урбанизированных территориях регионов России. В перспективе проекты, направленные на архитектурно-художественные, экологические решения при строительстве уникальных зданий и сооружений животноводческого комплекса будут способствовать к развитию архитектурных национальных традиции в регионах России, раскрывая при этом их возможности использования альтернативных источников энергии для оздоровления среды обитания человека, животных и птиц.*

***Ключевые слова:** экология, строительство, здание, сооружения, животноводческий комплекс, альтернативные источники энергии*

ECOTECHNOLOGICAL ASPECTS OF CONSTRUCTION OF BUILDINGS AND FACILITIES IN LIVESTOCK COMPLEXES

Akhmadiev Gabdulahat Malikovich

Naberezhnye Chelny Institute

Kazan (Volga) Federal University, Russia,

e-mail: GMAhmadiev@kpfu.ru, ahmadievgm@mail.ru

***Abstract.** To create modern livestock complexes that meet environmental requirements, fundamental and applied knowledge and approaches are required to develop environmentally sound safe projects that take into account the morpho-physiological characteristics of animals and birds for the development of the national agricultural livestock industry in the urbanized territories of the regions of Russia. In promising projects aimed at architectural, artistic, environmental solutions in the construction of unique buildings and structures of a livestock complex will contribute to the development of architectural national traditions in the regions of Russia, while revealing their possibilities of using alternative energy sources to improve the habitat of humans, animals and birds.*

***Keywords:** ecology, construction, building, structures, livestock complex, alternative energy sources*

Актуальность настоящей работы определяется сегодняшним состоянием животноводства на региональных пригородных урбанизированных и районных сельских территориях. Для создания современных животноводческих комплексов, соответствующих экологическим требованиям, необходимы фундаментальные и прикладные знания и подходы для разработки надежных в экологическом отношении безопасных проектов, учитывающих и морфофизиологические особенности животных и птиц для развития национальной аграрной животноводческой индустрии на урбанизированных территориях регионов России. Эти проекты должны быть направлены на восстановление и обеспечение, сохранение и развитие племенных хозяйств и заводов с целью расширения разведения различных видов с.-х. животных и птиц. При этом определяющим, важным моментом является обеспечение населения экологически безопасной продукцией животного происхождения, производимой в регионах России, а также необходимость модернизации и повышения энергетической эффективности архитектуры животноводческих комплексов с учетом современных экологических нормативных требований и технологий.

Целью настоящей работы является разработка концепции желаемого и ожидаемого экологически безопасного проекта для строительства нового универсального животноводческого комплекса, который станет базой для формирования племенного животноводства и других типов животноводческих агропромышленных предприятий. Особенности обустройства животноводческого производственного здания (например, конюшни), оснащенного объектами альтернативной энергетики позволяли бы эффективно использовать возобновляемые источники энергии в различных климатических

условиях регионов России, отражали бы национальные архитектурные особенности уникальных зданий и сооружений, созданных для животноводческих комплексов [1].

Одной из важных задач отраслевой программы «Развитие племенного коневодства в Российской Федерации на 2013-2015 годы и на ожидаемый плановый период до 2020 года», в которой предусмотрено увеличение объемов воспроизводства молодняка племенных лошадей с 10,0 до 13,0 тыс. голов, и увеличение общего поголовья животных с 1362,1 до 1520,0 тыс. голов, является совершенствование организационно-технологических приемов ведения отрасли коневодства и разработка новых типов коневодческих предприятий для племенного коневодства [1].

В настоящее время вместе с тем приоритетными задачами прикладной строительной науки и практики являются задачи энергетической эффективности проектируемых архитектурных объектов и модернизации архитектуры энергоактивных зданий. Это связано с рядом серьезных проблем, важнейшими из которых являются сырьевой кризис и загрязнение окружающей среды. Мировое сообщество предпринимает различного рода попытки решения данных проблем, в числе которых особое место занимает использование альтернативных источников энергии в архитектуре уникальных зданий и сооружений [1].

В 1996 году был утвержден Указ Президента РФ № 440 «О концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию», в соответствии с которым определяется «введение хозяйственной деятельности в пределы емкости экосистем на основе массового внедрения энерго- и ресурсосберегающих технологий». В связи с этим использование в России средств альтернативной энергетики приобретает особое значение, что нашло отражение в дополнении от 08.09.2017 Постановления Правительства РФ № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» пункта ж(1) «Сведения об использовании возобновляемых источников энергии и вторичных энергетических ресурсов». Основные задачи, предусмотрены Федеральным законом от 23 ноября и они направлены на реализацию энергетической стратегии России на период до 2030 года, от 2009 г. №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [2].

Использование выбранных объектов альтернативной энергетики в коневодческих комплексах дает ряд преимуществ: производство более качественного корма (в 1 т сена содержится на 70 кормовых единиц больше, чем в обычных условиях); компенсация 60-90 % потребности в энергии на нагрев воды; обогрев зданий и электроснабжение, исключается использование холодной воды при перерывах в подаче электроэнергии; излишки энергии могут использоваться для энергоснабжения соседних зданий комплекса, а также для подзарядки аккумуляторов сельхозтехники [3-5].

Сегодня применение объектов альтернативной энергетики в архитектуре стало одним из основных направлений проектирования и определило конструктивные, инженерные и архитектурно-художественные, решения современных производственных зданий, расположенных в сельской местности. В сельской местности особенно востребовано применение возобновляемых источников солнечной и ветровой энергетики, которые практически не оказывают вредного воздействия на окружающую среду и экологически безопасны, просты при внедрении и использовании [6-8].

Для малоэтажных производственных зданий, расположенных в сельской местности, и для коневодческих комплексов, в частности, кровля составляет значительную долю от общей площади ограждающих конструкций и, находясь на максимальной высоте от поверхности земли, защищена от посторонних негативных воздействий и, как следствие, становится основным элементом конструкции здания для интеграции объектов альтернативной энергетики.

Таким образом, модульность и простота в единых функциональных отношениях конструктивных решений может дать возможность снизить объем первоначальных капиталовложений и создать энергетически сбалансированную систему.

Предполагаемые и ожидаемые результаты в перспективных проектах, направленные на архитектурно-художественные, экологические решения при строительстве уникальных зданий и сооружений животноводческого комплекса, будут способствовать развитию архитектурных национальных традиций в регионах России, раскрывая возможности использования альтернативных источников энергии для оздоровления среды обитания человека, животных и птиц.

Список литературы

1. Патент РФ № 2171 988. Коневодческий комплекс с интегрированными объектами альтернативной энергетики Опубликовано: 27.03.2020, Бюл. № 9.
1. Рябов А.В. Объекты альтернативной энергетики в архитектуре зданий. – М.: «Аналитик», 2012.
2. Рекомендации по использованию нетрадиционных источников энергии в животноводстве, кормопроизводстве, крестьянских хозяйствах и сельском жилом секторе. ФГНУ НПЦ «Гипронисельхоз», М., 2003.
3. Четошникова Л.М. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии: учеб. пособие к практическим занятиям / Л.М. Четошникова. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2010.
4. РД-АПК 1.10.04.03-13 «Методические рекомендации по проектированию коневодческих предприятий». Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, М., 2000.
5. Патент РФ №2395459 от 27.07.2010 г.
6. Патент РФ №2530516 от 14.08.2014 г.
7. Патент РФ №2506374 от 10.02.2014 г.
8. Патент РФ №2460863 от 10.09.2012 г.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСХОДОВ ПО ОБРАЩЕНИЮ С ОТХОДАМИ

Безруков Михаил Евгеньевич

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского, Россия*
e-mail: mik38@yandex.ru

***Аннотация.** На основании существующей нормативной документации и закономерностей токсического проявления компонентов отхода предложена схема оптимизации расходов по их обращению.*

***Ключевые слова:** отходы, класс опасности, биотестирование*

OPTIMIZATION OF WASTE MANAGEMENT COSTS

Bezrukov Mikhail Evgenievich

Lobachevsky national research Nizhny Novgorod state University, Russia
e-mail: mik38@yandex.ru

***Abstract.** Based on the existing regulatory documentation and patterns of toxic manifestation of waste components, a scheme for optimizing the costs of their treatment is proposed.*

***Keywords:** waste, hazard class, bioassay*

Одним из современных аспектов ресурсоэнергоэффективного обращения с отходами является их вторичная переработка. Однако вовлечение отхода в технологический процесс с образованием нового материального продукта на одном и том же – предприятии идеальный, но, к сожалению, не всегда достижимый вариант. Как правило, в своей производственной деятельности предприятия вынуждены передавать свои отходы для утилизации или переработке другим организациям. И тогда огромную долю в стоимости, а значит эффективности в обращении с отходами, вносит класс опасности отхода.

Оценка опасности отходов методами биотестирования была внедрена в практику аналитических лабораторий России в связи с ратификацией Базельской конвенции (№ 49-ФЗ) [1]. Конвенция была принята 22.03.1988 г в г. Базель и вступила в силу 05.05.1992 г. Ратифицировали Конвенцию 166 стран, в том числе и Россия. В данной Конвенции указано: «Экотоксичными считаются вещества или отходы, которые при попадании в окружающую среду оказывают немедленное или отложенное во времени неблагоприятное воздействие на окружающую среду посредством биоаккумуляции и/или токсического воздействия на биоценозы, а также способные образовывать другие вещества с экотоксическими свойствами». Определение

класса опасности отходов в Российской Федерации на современном этапе определяется «Критериями отнесения отходов к I-V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду», утвержденными приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 4 декабря 2014 года № 536 [2].

В соответствии с данными «Критериями...» класс опасности отхода производится расчетным (химико-аналитическим) методом, экспериментальным (биотестирование) или берется из справочника ФККО, где последняя цифра кода характеризует класс опасности отхода.

Таким образом, существует три подхода для определения класса опасности. Если ориентироваться на удобство при использовании этих подходов, то, безусловно, нахождения отхода из справочника ФККО наиболее экономичная и удобная форма. Но, не всегда возможно ей воспользоваться. При составлении паспорта отхода необходимо прописать морфологический состав.

Для промышленных отходов с переменным составом это значит, что нужно проводить химические анализы и, по сути, использовать расчетный метод. Метод биотестирования (экспериментальный метод) является обязательным только для подтверждения 5 класса опасности и применяется дополнительно в том случае, если аналитически не удастся определить компонентный состав отхода.

Если объемы образования отходов небольшие, то, безусловно, использования справочника ФККО и/или расчетного метода анализа наиболее приемлемый вариант для предприятий. Однако если объемы отходов велики и стоимость расходов за их обращение перекрывает стоимость аналитических исследований, возникает необходимость оптимизации этих расходов. Для предприятий становится нецелесообразным переплачивать за повышенный класс опасности отходов.

Опираясь на 20-летний опыт работы со сточными водами и отходами предприятий, мы пришли к выводу, что не всегда данные отнесения отходов к классу опасности в ФККО, расчетный метод и биотестирование совпадают.

На рис. 1 представлены результаты отнесения к классу опасности для окружающей среды, выполненные методом биотестирования для отходов 4 класса по ФККО.

Как видно из данного рисунка, отходы 4 класса опасности по ФККО реально могут оказывать как меньшее, так и большее токсическое действие и относиться как к 5, так и к 3 классу опасности.

Существует две основные причины таких расхождений:

1. Технологические нарушения по сбору и временному накоплению отходов.
2. Различия в биологической активности и валовом содержании состава отхода.

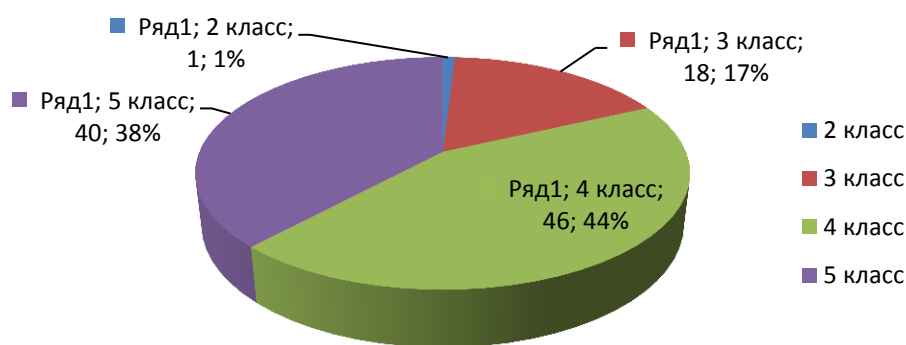


Рис. 1. Результаты биологического тестирования отходов отнесенных в ФККО к 4 классу опасности

Технологические нарушения, как правило, связаны с дополнительным загрязнением отхода в процессе сбора и временного накопления. Любое дополнительное загрязнение способствует увеличению его токсичности и класса опасности (наиболее заметное для практически неопасных отходов 5 класса). Особенно это характерно для предприятий химической промышленности. Ненадлежащее хранение отходов полимерной продукции совместно с химическими реагентами приводит к сорбции на своей поверхности химических веществ, что может привести вместо 5 к появлению 4 (а может, и 3) класса опасности. Устранение данной причины, как правило, является простой задачей.

Более сложно разобраться со второй причиной.

Принципиально понятно, что кусок металла с содержанием компонента 100 % может не оказывать токсическое действие и по ФККО относиться к 5 классу и показывать такие же результаты методом биотестирования. Другой вариант, когда этот же металл находится в составе солей и представляет водорастворимую форму. В таком случае даже небольшое содержание металла в отходе приводит к повышению его опасности (токсичности). Вся разница в биологической активности (токсическом проявлении) компонента отхода на тест-организмы.

Следует учесть, что важной является не только концентрация компонента отхода, но и другие составляющие:

- различия в растворимости компонентов отхода, которая может зависеть от вида соли металлов, содержащихся в отходах;
- характеристика комбинированного проявление смеси отхода;
- рН водной вытяжки отхода и т. д.

Так, например, растворимость солей Zn возрастает в тысячи раз в цепочке: $\text{CrO}_4^- > \text{OH}^- > \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{J}^- > \text{Br}^-$.

Пропорционально с растворимостью повышается и токсичность отхода.

При нахождении компонента в составе смеси, что является естественным для большинства отходов, проявляются комбинированные эффекты

влияния на живые организмы. Существуют три сценария развития комбинированного действия, – аддитивное; потенцирование и антагонизм. При аддитивном действии эффекты всех компонентов смеси суммируются. При потенцировании эффекты компонентов усиливаются, и смесь становится более токсичной, чем сумма изолированного действия отдельных компонентов. При антагонизме токсическое действие компонентов смеси подавляется с общим снижением токсичности всей смеси. Таким образом, предприятия, основываясь только на результаты расчетного (химического) метода либо не доплачивают, либо переплачивают за формирование своих отходов.

Токсичность ряда солей металлов очень чувствительна к изменению рН. Иногда наблюдаются случаи, когда на границах нормы 7,0-8,5 рН токсичность раствора солей металлов меняется более чем на 30 %.

Вместе с тем следует отметить, что существующие факторы, влияющие на изменение токсичности отходов, вносят не только негативный элемент в усложнение процедуры определения класса опасности. Опираясь на знание этих факторов применительно к каждому виду отходов, можно разработать технологические приемы, позволяющие снизить его токсичность.

Так, например, можно добиться снижения токсичности компонентов отхода за счет перевода их в менее растворимые формы физическими методами (как пример – спекание и грануляция) либо химическими (доокисление отхода, перевод в малорастворимые соли), либо формированием смеси отходов с антагонистическим проявлением токсического действия.

Знания о специфике существующего отхода производства, его компонентного состава, использование этих знаний в коррекции конечного вида отходов может значительно изменить его класс опасности, что может значительно упростить дальнейшие этапы утилизации или вторичного использования отхода и снизить общую стоимость за факт его формирования.

Общий принцип проведения работ по данному направлению можно выразить в виде упрощенной принципиальной схемы (рис. 2).

На первом этапе необходимо проведение экологического аудита – анализа существующих отходов на предприятии, объемов его производства, компонентного состава, существующих схем его накопления и утилизации.

На втором этапе на основании экологического аудита формируются рекомендации по технологическим схемам обращения с отходами, определяются приоритетные виды отходов и осуществляется разработка технологических схем по снижению класса опасности отходов. На следующем этапе предложенные схемы апробируются в ходе опытно-производственных испытаний.

Далее утверждается техническое задание на проектирование и подготовку технической и разрешительной документации для согласования в контролирующих природоохранных органах.



Рис. 2. Принципиальные этапы оптимизации расходов по обращению с отходами

Окончательной целью всех этапов оптимизации расходов по обращению с отходами является внедрение рекомендаций и технологических приемов на предприятии.

Список литературы

1. Базельская конвенция о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением, от 22.03.1989, Базель. Ратифицирована Федеральным законом РФ от 25 ноября 1994 года № 49-ФЗ.

2. Приказ Минприроды России от 04.12.2014 № 536 «Об утверждении Критериев отнесения отходов к I-V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду» (Зарегистрировано в Минюсте России 29.12.2015 № 40330).

УДК 628.316:54:544.72

ТЕХНОЛОГИЯ СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ СРЕД ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАНУЛИРОВАННОГО БЕНТОНИТА

Веденеева Наталия Владимировна

Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А., Россия

e-mail: vnv09@ya.ru

Аннотация. Статья посвящена применению сорбционных технологий с использованием бентонитовых сорбентов для очистки воды от приоритетных загрязнителей.

Ключевые слова: водоочистка, сорбенты, бентонитовые гранулы, загрязнение воды

TECHNOLOGY OF SORPTION PURIFICATION OF AQUEOUS MEDIA FROM CONTAMINATION USING GRANULAR BENTONITE

Vedeneeva Natalia Vladimirovna

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

e-mail: vnv09@ya.ru

***Abstract.** The article is devoted to the application of sorption technologies using bentonite sorbents for water purification from priority pollutants.*

***Keywords:** water treatment, sorbents, bentonite granules, water pollution*

Стоки многих предприятий существенно загрязнены ионами тяжелых и цветных металлов, молекулами органических веществ и взвешенными веществами, поэтому создание новых ресурсосберегающих технологий и систем очистки сточных вод, позволяющих создавать замкнутые водооборотные циклы, для уменьшения антропогенного воздействия на водные источники, является весьма актуальным направлением.

Взвеси являются одними из основных загрязнителей промливневых и поверхностных вод. Они не только ухудшают качество воды, но и неблагоприятно сказываются на режиме перемещения потока, материале трубопроводов, работе гидрооборудования и запорной арматуры.

Разделение гетерогенных систем и удаление крупнодиспергированных частиц из воды при водоочистке не вызывают особых затруднений, извлечение же растворенных и мелкодисперсных примесей на этапе доведения качества воды до уровня ПДК – достаточно сложный процесс. Как правило, для этого используют фильтрование и сорбцию на различных материалах, которые зачастую являются дорогостоящими.

Технология сорбционной очистки воды является высокоэффективным методом глубокого очищения. Сорбция – это устранение вредных химических соединений и примесей путем связывания частиц за счет силы молекулярного взаимодействия. Уникальность технологии очистки воды с помощью сорбции заключается в том, что сорбционные материалы позволяют очищать воду от многих органических веществ, которые не удаляются другими методами.

Очищение высокоактивными сорбентами обеспечивает получение на выходе воды с практически нулевыми остаточными концентрациями, при этом сорбенты вступают в реакцию даже с веществами, содержащимися в воде в небольших концентрациях, когда другие методы очистки не срабатывают. Сорбционные технологии очистки применяют для устранения запахов, привкусов, хлорированных углеводородов и сероводорода. В качестве сорбентов служат пористые твердые материалы, величина поверхности взаимодействия определяет эффективность сорбции. Сорбционная способность материала называется емкостью и определяется в зависимости

от количества различных загрязнителей, которое может быть нейтрализовано данным количеством сорбента. В настоящее время активно разрабатывается направление обработки воды алюмосиликатными материалами природного происхождения. Это связано с их высокой эффективностью при достаточно невысокой стоимости. К таким адсорбентам относятся бентонитовые глины, состоящие в основном из монтмориллонита.

Бентонитовые глины с доисторических времен использовались для очистки вина, масел, воды. Они нетоксичны и имеют чрезвычайно развитую поверхность, что обуславливает значительную адсорбционную емкость, т. е. способность активно поглощать из растворов различные вещества. Сдерживающим фактором широкого использования природных бентонитовых сорбентов для очистки питьевой воды и промстоков является отсутствие эффективных технологий гранулирования, поскольку глинистые минералы подвержены в водных средах эффекту пептизации, т. е. диспергированию [1].

Саратовскими учеными НПП «Лисскон» совместно с сотрудниками кафедры «Экология» СГТУ имени Гагарина Ю.А. разработана технология гранулирования бентонитовых глин, в результате которой получают современные, удобные в применении сорбенты, способные очищать воду от широкого спектра загрязнителей.

Проведенными лабораторными исследованиями была доказана эффективность применения таких сорбентов при водоподготовке.

Для оценки эффективности бентонитовых гранул был выполнен анализ сорбционных свойств в отношении модельных растворов загрязнителей. В частности, была исследована эффективность очистки высокоцветных и мутных растворов.

Данные виды модельных растворов были выбраны не случайно. Как известно, природная вода обладает цветностью, т. е. окраской в тот или иной цвет. Обуславливающие цветность воды комплексные соединения железа и гумусовые вещества находятся в природных водах во взвешенном состоянии (нерастворимые вещества почвы) и истинно растворенном состоянии. Их содержание в морских водах достигает 0,1-3 мг/л, а в речных – 20 мг/л. Цветность природных вод колеблется от единиц до нескольких сотен градусов, для некоторых регионов РФ этот показатель достигает 200° (по Со-Рт шкале) [2].

Объектом исследования стали бентонитовые гранулы, полученные путем отжига бентонита Саригюхского месторождения при 550° С, модифицированные глицерином, а также без модификации.

При оценке сорбционной емкости исследованных образцов использовали растворы гуматов разной концентрации, обуславливающих цветность от 24 до 350°. Пятикратный объем модельного раствора пропускали через фильтрующую загрузку. Далее измеряли оптическую плотность в исходном растворе и фильтрате.

Результаты измерений представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сорбционная активность бентонитовых гранул в отношении цветности

Образец	Показатель	Цветность модельного раствора, градусы								
		350	300	280	225	190	100	60	24	ПДК
Гранулы с глицерином	Цветн., град	13	12	13	15	12	12	12	6	20
	Сорбция, %	96,2	96	95,3	93,3	93,6	88	80	75	
Гранулы без глицерина	Цветн., град	11	11	10	9	8	12	12	5	20
	Сорбция, %	96,8	96,3	96,4	96	95,8	88	80	79,2	

Степень извлечения гумусовых веществ из раствора составила от 75 до 96,8 %, что свидетельствует об эффективности анализируемых сорбентов. Выявлено также, что с ростом концентрации веществ в растворе сорбционная активность гранул растет.

Аналогично цветности оценивали степень извлечения взвешенных частиц из воды (табл. 2). В качестве модели высокомутных растворов использовали разведенный в дистиллированной воде порошок мелкодисперсного бентонита.

Таблица 2

Степень извлечения взвешенных частиц из воды исследуемыми образцами бентонитовых гранул

Концентрация модельного раствора	Мутность, ЕМФ/ Степень очистки, %			
	150	100	50	ПДК, ЕМФ
Гранулы с глицерином	2,4/98,40	2,2/97,80	2,4/95,20	2,6
Гранулы без глицерина	2,0/99,67	2,0/98,00	1,7/96,60	2,6

Установлено, что эффективность фильтрации составляла в среднем 97 %, несмотря на значительное превышение мутности модельного раствора относительно средних показателей. Согласно литературным данным, средние значения мутности воды в реке Волге составляют 1,4-1,6 мг/л (3,64-4,16 ЕМФ), в период паводка мутность возрастает до 4-6 мг/л (10,4-15,6 ЕМФ) [3]. Отметим, что с увеличением мутности раствора повышается сорбционная активность бентонитовых гранул.

Для оценки сорбционных свойств бентонитовых гранул в отношении тяжелых металлов и мышьяка использовали растворы нитрата свинца (II), хлорида железа (II) и нитрата никеля (II). Определение сорбционной емкости проводилось согласно Borden and Giese [4]. Результаты рассчитанной сорбционной емкости для исследуемых элементов представлены в табл. 3.

Следует отметить, что сорбционная емкость бентонитовых гранул по отношению к железу выше, чем к свинцу или никелю.

Таким образом, выполненные испытания доказали способность бентонитовых сорбентов извлекать из воды взвешенные частицы, очищать от гумусовых веществ, а также эффективно удалять тяжелые металлы, в связи

с чем разработанные сорбенты можно рекомендовать к использованию как самостоятельный фильтрующий материал для обезжелезивания и очистки высокоомутных и цветных вод, так и в качестве составной части адсорбционно-мембранных систем водоподготовки.

Таблица 3

Значения максимальной сорбционной емкости бентонитовых гранул

Сорбируемый элемент	Образец	A_{∞} , мг/г
Свинец	Гранулы с глицерином	1,51
	Гранулы без глицерина	1,55
Железо	Гранулы с глицерином	2,20
	Гранулы без глицерина	2,25
Никель	Гранулы с глицерином	1,98
	Гранулы без глицерина	1,87

Список литературы

1. Годовиков А.А. Минералогия. Москва: Недра, 83. 460 с.
2. Орлов А.А., Спирин В.Ф. Гигиенические вопросы сельского водоснабжения в современных условиях. Итоги и перспективы научных исследований по проблеме экологии человека и гигиены окружающей среды. В материалах Всероссийской научной конференции: Москва, 2006. С. 375-379.
3. Рафф П.А., Селюков А.В., Байкова И.С. Технология контактного осветления воды в условиях Волжского водозабора г. Казани // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 6. С. 25-29.
4. Borden D., Giese R.F. (2001). Baseline studies of the clay minerals society source clays: cation exchange capacity measurements by the ammonia-electrode method. Clays Clay Miner. V. 49. P. 444-445.
5. Lin S.H. and Juang R.S. Heavy metal removal from water by sorption using surfactant-modified.

УДК 502:338.45(470.51)(045)

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА

Журавлева Анастасия Николаевна, Чиркова Юлия Леонидовна

Удмуртский государственный университет, Россия

e-mail: JuChircova@mail.ru, zhuravleva_anastasija@mail.ru

Аннотация. Рассмотрена целесообразность использования попутного нефтяного газа в качестве вторичного ресурса, срок окупаемости установок предварительного сброса воды для утилизации попутного нефтяного при замене 100 % сжигания 100 % утилизацией на примере малой нефтяной компании, расположенной в Удмуртской Республике.

Ключевые слова: попутный нефтяной газ, факельное сжигание попутного нефтяного газа, утилизация попутного нефтяного газа, установка предварительного сброса воды, вторичный ресурс, плата за негативное воздействие на окружающую среду

ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC JUSTIFICATION ASSOCIATED PETROLEUM GAS APPLICATIONS

Zhuravleva Anastasia Nikolaevna, Chirkova Yulia Leonidovna

Udmurt State University, Russia

e-mail: JuChircova@mail.ru, zhuravleva_anastasija@mail.ru

***Abstract.** The expediency of using associated petroleum gas as a secondary resource, the payback period of pre-discharge installations for utilization of associated petroleum gas when replacing 100 % combustion with 100 % utilization is considered on the example of a small oil company located in the Udmurt Republic.*

***Keywords:** associated petroleum gas, flaring of associated petroleum gas, associated petroleum gas utilization incineration, installation of preliminary water discharge, secondary resource, payment for negative impact on the environment*

Нефтяная промышленность – отрасль экономики, составляющая важную часть энергетики Российской Федерации, которая включает добычу, переработку, транспортировку, складирование и продажу полезного природного ископаемого – нефти и сопутствующих нефтепродуктов. Актуальной проблемой данной отрасли является использование сопутствующих продуктов с целью снижения себестоимости нефтедобычи. Одним из основных сопутствующих нефтяных продуктов является попутный нефтяной газ.

Попутный нефтяной газ (ПНГ) – это природный углеводородный газ, растворенный в нефти или находящийся в «шапках» нефтяных и газоконденсатных месторождений. В отличие от природного газа попутный нефтяной газ содержит в своем составе, кроме метана и этана, большую долю пропанов, бутанов и паров более тяжелых углеводородов. Во многих попутных газах в зависимости от месторождения содержатся также неуглеводородные компоненты: сероводород и меркаптаны, углекислый газ, азот, гелий и аргон.

ПНГ является важным сырьем для энергетики и химической промышленности, поскольку имеет высокую теплотворную способность, которая колеблется в пределах от 9 тысяч до 15 тысяч Ккал/м³, но его использование в энергогенерации затрудняется нестабильностью состава и наличием большого количества примесей, что требует дополнительных затрат на очистку («осушку») газа. В химической промышленности содержащиеся в ПНГ метан и этан используются для производства пластических масс и каучука, а более тяжелые элементы служат сырьем при производстве ароматических углеводородов, высокооктановых топливных присадок и сжиженных углеводородных газов, в частности сжиженного пропан-бутана технического [1].

Однако попутный нефтяной газ в России традиционно рассматривался не как ценный ресурс, а как побочный продукт нефтедобычи, наиболее простой способ использования которого – факельное сжигание на нефте-

промыслах (рис. 1). Но развитие газонефтехимической переработки ПНГ может способствовать повышению экономической и экологической эффективности нефтяного сектора, развитию отрасли газонефтехимии.



Рис. 1. Факельное сжигание ПНГ

ПНГ может быть утилизирован несколькими способами в зависимости от состава сырья. Условно можно разделить методы, которыми осуществляется утилизация попутного нефтяного газа, на два вида:

- 1) энергетический – различные виды топлива;
- 2) нефтехимический – промышленное сырье.

Однако утилизация ПНГ стоит дорого, поэтому малым нефтяным компаниям порой не под силу приобрести оборудование для утилизации.

Также стоит отметить, что в нашей стране отсутствует сеть специальных трубопроводов, куда частные компании могли бы сдавать ПНГ практически без подготовки (по аналогии с нефтью), как, например, это сделано в ряде штатов США, Канаде. Далее сырье бы направлялось на газоперерабатывающие и химические предприятия [2].

На малых месторождениях наиболее выгодной является выработка электроэнергии, которую можно направить на собственные нужды добывающей организации либо на нужды расположенных вблизи потребителей.

Если речь идет о средних размерах месторождения, экономически целесообразно будет организовать извлечение из ПНГ сжиженного газового вещества на специализированном газоперерабатывающем заводе с по-

следующей его продажей в виде сжиженного газа или прочей нефтехимической продукции.

При наличии крупного месторождения одним из наиболее перспективных методов переработки ПНГ признано использование его для генерирования электроэнергии на электростанции. Впоследствии данный ресурс может продаваться оптовыми партиями в энергосистему [3].

Использование попутного нефтяного газа в качестве энергоресурса невозможно без его предварительной подготовки с использованием установки предварительного сброса воды (УПСВ). Авторами на примере малой нефтяной компании, расположенной на территории Удмуртской Республики, было рассмотрено использование попутного нефтяного газа для обогрева близлежащего населенного пункта с помощью УПСВ.

УПСВ – установка для отделения от нефти пластовой воды и попутного газа, а также подогрева нефти и приращение удельной энергии потока добываемой нефти (дожим) до следующей системы подготовки нефти [4].

Сводные расчеты по размерам платы при сжигании и утилизации ПНГ рассматриваемой малой нефтяной компании представлены в таблице, при условии наличия средств измерений и (или) технических систем и устройств с измерительными функциями, соответствующих требованиям, устанавливаемым Министерством энергетики Российской Федерации, измеряющих объем фактически добытого и сожженного на факельных установках и (или) рассеянного попутного нефтяного газа; годовой объем добытого пользователем недр попутного нефтяного газа не превышает 5 млн. м³ или объемное содержание неуглеводородных компонентов в попутном нефтяном газе, добытом на участке недр, превышает 50 %.

Данные о плате за негативное воздействие
на окружающую среду при сжигании ПНГ (1095000 т/год)

Показатели	100 % сжигание до 2020 г.	100 % сжигание с 2020 г.	5 % сжигание	100 % утилизация
Повышающий коэффициент	25	100	–	–
Сумма платы, тыс. руб./год	76 869 000	118 260 000	54,750+172*	181*

* с учетом платы за негативное воздействие на окружающую среду

На основании Приказа Министерства строительства, жилищно-коммунального хозяйства и энергетики Удмуртской Республики № 12/11 от 16.06.2020 «О ценах на природный газ, реализуемый населению Удмуртской Республики» [5] стоимость газа составляет 5,48 руб./м³. Таким образом, при покупке природного газа из газораспределительной сети в количестве 112 072 м³ (1095000 т) для отопления близлежащего населенного пункта за-

траты составят 614154,56 руб. Но предприятию-потребителю дополнительно необходимо будет внести плату за негативное воздействие на окружающую среду в размере 181 058,64 руб. Итого примерные расходы, связанные с обогревом зданий и сооружений газом, получаемым из газораспределительной сети, составят 795 213,20 руб. (данный объем осушенного ПНГ в отопительный сезон позволит обогреть 20 жилых домов площадью 150 м³).

Таким образом, ПНГ можно использовать как вторичный ресурс, что позволит снизить себестоимость добычи нефти.

Рассмотрим период окупаемости УПСВ. Согласно лоту, размещенному на федеральной электронной площадке «ТЭК-Торг» (извещение о процедуре № ЗП001024), начальная цена поставки оборудования для УПСВ составляет 755 000 000,00 руб. [6]. Примем, что общая стоимость оборудования УПСВ, разработка проектной документации, проведение экспертизы проектной документации, ввод в эксплуатацию составят 800 000 000, руб.

Окупаемость установки, если заменить 100 % сжигание ПНГ в 2020 г. 100 % утилизацией, на основании данных таблицы составит:

$$800\,000\,000 : (118260\,000 - 795\,213,20) = 800\,000\,000 : 117\,464\,786,80 = 6,81 \approx 7 \text{ лет.}$$

Стоимость проектирования УПСВ достаточно велика, и поддержка ее в работоспособном состоянии тоже стоит больших затрат. Но наличие данных установок позволяет создавать замкнутые производственные циклы, снижать количество выбросов в атмосферу, снижать потребление пресной воды. Использование ПНГ для собственных нужд или для нужд близлежащих населенных пунктов позволит повысить эффективность процесса добычи нефти и уменьшить негативные последствия в районах нефтедобычи. По мнению авторов, для того, чтобы увеличить использование ПНГ в нашей стране необходимо: строительство специальных трубопроводов для транспортирования ПНГ до ближайшего газоперерабатывающего завода; налоговые льготы, привлечение инвесторов. Можно воспользоваться опытом других стран, таких как: США, Канада, Китай, Норвегия, Саудовская Аравия, Индонезия, Казахстан, Азербайджан, Ангола, в которых утилизация ПНГ – обычный технологический процесс.

Список литературы

1. Аналитический доклад об экономических и экологических издержках сжигания попутного нефтяного газа в России Попутный нефтяной газ в России: «Сжигать нельзя, перерабатывать!» / П.А. Кирюшин, А.Ю. Книжников, К.В. Кочи, Т.А. Пузанова, С.А. Уваров, М., 2013. 90 с.
2. (ПАО «Газпром нефть» [сайт] URL: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2018-june/1715822/>).
3. (АО «Грасис» [сайт] URL: <https://www.grasys.ru/utilizacija-poputnogo-nefjanogo-gaza-png/>).

4. (Википедия – свободная энциклопедия URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Установка_предварительного_сброса_воды).

5. Приказ Министерства строительства, жилищно-коммунального хозяйства и энергетики Удмуртской Республики № 12/11 от 16.06.2020 «О ценах на природный газ, реализуемый населению Удмуртской Республики».

6. Федеральная электронная площадка «ТЭК-ТОРГ» URL: <https://www.tek-torg.ru/223-fz/procedures/311401>).

УДК 628.39/628.316.12

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСАЖДЕНИЯ СТРУВИТА ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ АЗОТА ИЗ СТОЧНЫХ ВОД

**Маргарян Лиана Арменовна, Айрапетян Сергей Суменович,
Банян Лилит Саркисовна, Мартирян Армен Игнatieвич**
Ереванский государственный университет, Армения, г. Ереван
e-mail: l.margaryan@ysu.am, haysers@ysu.am,
lilitbanyan35@gmail.com, armart@ysu.am

***Аннотация.** Оценена эффективность применения метода осаждения струвита при очистке сточных вод городов Гавар, Мартуни и Варденис бассейна о. Севан для снижения концентраций аммонийного азота. Результаты оценки показывают, что можно достичь 95 % снижения содержания аммонийного азота, если все дома городов, даже ближайших поселков, будут подключены к общей канализационной системе. Расчетные данные показывают, что в таком случае в сточных водах будет достаточно высокое содержание аммонийного азота для его восстановления и осаждения в виде струвита.*

***Ключевые слова:** качество воды, струвит, сточные воды, аммонийный азот, очистка сточных вод*

EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF USING STRUVITE SEDIMENTATION FOR REMOVING NITROGEN FROM WASTEWATER

**Margaryan Liana Armenovna, Hayrapetyan Sergey Surenovich,
Banyan Lilit Sarkisovna, Martiryanyan Armen Ignatievich**
Yerevan State University, Armenia, Yerevan
e-mail: l.margaryan@ysu.am, scirec@mail.ru,
lilitbanyan35@gmail.com, armart@ysu.am

***Abstract.** In this work, the effectiveness of using a struvite sedimentation method was assessed for removing ammonium nitrogen from wastewater of the cities of Gavar, Martuni and Vardenis in the Sevan basin. The assessment results showed that it is possible to achieve up to 95 % reduction in the concentration of ammonium nitrogen in the case, when all households in cities, even the nearest villages, will be connected to a common sewage system. Based on data of calculation, in this case, the wastewater will contain a sufficiently high content of ammonium nitrogen for its reduction and sedimentation as struvite.*

***Keywords:** water quality, struvite, wastewater, ammonium nitrogen, wastewater treatment*

По данным Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), Армения является страной с низким уровнем водообеспеченности и подверженностью водному стрессу с индексом использования воды 45 %. Только 48 % населения страны пользуются услугами санитарии с безопасным управлением, в то время как 80-90 % бытовых сточных вод не очищаются перед сбросом в водные объекты [1].

Самым большим источником пресной воды в Армении, а также во всем Закавказье, является бассейн озера Севан. Площадь бассейна составляет 4721 км², где 1279 км² – площадь о. Севан. В о. Севан впадают около 28 рек и притоков, которые играют важную роль при формировании качества воды озера [2]. В бассейне Севан из 195 населенных пунктов с общей численностью 195661 житель только три города (Гавар, Мартуни, Варденис) имеют частичную канализационную систему (50-77 %) и станции очистки сточных вод.

Очистные станции были построены в 2013 г. по новым технологиям, где проводится, к сожалению, лишь предварительная (механическая) очистка. Очень часто бытовые сточные воды без очистки или после частичной очистки напрямую сбрасываются в водные каналы или в реки. В бассейне о. Севан такими реками являются Гаварагет, Варденис и Мартуни, которые в конечном итоге, впадая в о. Севан, загрязняют его воды органическими соединениями, азотом и фосфором [3].

В последние годы компании городского водоснабжения и водоотведения, а также предприятия по очистке бытовых и промышленных сточных вод ищут доступные технологии для снижения концентрации фосфора и азота. Перспективным методом может служить осаждение струвита для извлечения азота из сточных вод [4].

Целью этой работы является оценка приемлемости и эффективности использования метода осаждения струвита для снижения содержания азота в городских сточных вод в бассейне о. Севан.

В бытовых сточных водах азот находится в основном в форме аммонийного азота, высокое содержание которого приводит к кислородному голоданию и отрицательному воздействию на водную экосистему [7]. Наиболее перспективным методом утилизации аммонийного азота является его восстановление в виде нерастворимого соединения гексагидрата магнийаммонийфосфата (струвита). Струвит – это твердое, стойкое тело, содержащее три питательных элемента (азот, фосфор и магний), которое можно извлечь из сточных вод и использовать в качестве азотного удобрения в сельском хозяйстве.

Исследования по получению струвита из сточных вод и его применению в качестве удобрения ведутся во многих странах мира. В литературе известны различные патенты методов осаждения струвита, которые основаны на концепции применения солей магния, чтобы достичь оптимального молярного соотношения Mg/N/P [4]. Во всех случаях эффективность

осаждения струвита также зависит от высокой концентрации аммонийного азота в сточных водах.

Поэтому нами было исследовано содержание аммонийного азота в сточных водах городов Гавар, Мартуни и Варденис за 2018-2020 гг. Были скомбинированы расчетные и аналитические методы.

Согласно методике В.Я. Навотного [8], в бытовых сточных водах ион аммония при расчете на душу населения составляет 10,3 г/жителя*день. Сопоставляя статистические данные численности населения городов Гаваргет, Мартуни и Варденис [3] в бассейне о. Севан, было рассчитано, что в сточных водах при наличии стопроцентного обеспечения канализационной системой городов, концентрация аммонийного азота будут достаточно высокой (таблица 1) для эффективного применения метода осаждения струвита. При применении этого метода можно достичь до 95 % снижения уровня азота в городских сточных водах и получения концентрированного осажденного струвита для использования его в сельском хозяйстве.

Таблица 1

Расчетные данные содержания аммонийного азота в сточных водах городов бассейна о. Севан за 2018-2020 г.

Город	Численность населения	Сток сточных вод, л/с	Аммонийный азот, тонна/год	Аммонийный азот, мг/л
Гавар	29146	13,4	109,6	114,8
Мартуни	13627	7,1	51,2	51,0
Варденис	15272	10,5	57,4	26,0

Нами были рассмотрены также фактические содержания аммонийного азота при выходе из станций очистки сточных вод трех городов. Анализ концентраций аммонийного азота проводился в лаборатории компании «Веолиа Джур» с помощью спектрофотометра фирмы HACH [9].

Таблица 2

Результаты анализов сточных вод по кварталам за 2018 г.

Период времени	Среднесуточный сток, м ³ /день			Аммонийный азот (мг/л)		
	Гавар	Мартуни	Варденис	Гавар	Мартуни	Варденис
1 квартал	2503	2514	6495	16,3	11,7	2,2
2 квартал	2048	2656	6387	13,2	10,1	1,6
3 квартал	2111	3477	5678	15,6	9,5	2,4
4 квартал	2011	2441	5866,6	8,9	8,9	1,4
Среднегодовой	2168	2772	6109	13,5	10,0	1,9
Максимум	2503	3477	6495	16,3	11,7	2,4
Минимум	2011	2441	5678	8,9	8,9	1,4

Полученные данные показывают (таблица 2), что при выходе из очистных сооружений содержание аммонийного азота в 6-10 раз меньше, чем должно быть по расчетным данным. Это может быть обусловле-

но тем, что канализационная система не полностью охватывает города. Значительное число домов в г. Гавар, Мартуни и Варденис не подключены к канализационной системе, сточные воды не собираются и не попадают в очистные станции. Таким образом, применение метода осаждения струвитом для снижения уровня азота может стать неэффективным и дорогостоящим.

Список литературы

1. Stocktaking exercise to identify legal, institutional, vulnerability assessment and adaptation gaps and barriers in water resources management under climate change conditions, «GeoInfo» Ltd., 2020, 244.
2. Мнацакян Б.П., Бассейн Севана (Природа, климат и воды). Ереван: Астхик, 2007. 190 с.
3. Социально-экономическая ситуация в Республике Армения в январе-апреле 2020 года / Статистическая служба Республики Армения. С. 125-127.
4. Яковлева А.А., Якушева Н.И., Федотова О.А. Способы получения струвита из сточных вод // ВЕСТНИК ПНИПУ. 2019. № 4. С. 62-72.
5. Fattah K.P., 2004. Pilot scale struvite recovery potential from centrate at lulu island wastewater treatment plant // M.A.Sc. Thesis, Department of Civil Engineering, The University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada.
6. Stratful I., Scrimshaw M.D., Lester J.N., Removal of struvite to prevent problems associated with its accumulation in wastewater treatment works // Water Environment Research. 2004. 76(5). P.437-443.
7. Алекин А. Гидрохимия. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 444 с.
8. Novotny V., Water Quality: Diffuse Pollution and Watershed Management, 2002, and David A. Chin, Water-Quality Engineering in Natural Systems, 2007.
9. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. 1998, Edited by Lenore S. Clesceri, Arnold E. Greenberg, Andrew D. Eaton.

УДК 628.5

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГАЗОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Плотникова Ольга Александровна, Бессонова Валерия Сергеевна
*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А, Росси*
e-mail: lerabessonova1706@mail.ru, plotnikova_o_a@mail.ru

***Аннотация.** Рассматриваются экологические проблемы современного газоперерабатывающего производства. На примере типового предприятия даны рекомендации по снижению уровня негативного воздействия на состояние окружающей среды.*

***Ключевые слова:** газоперерабатывающее предприятие, источники загрязнения, выбросы, отходы*

ENSURING THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF A GAS PROCESSING PLANT

Bessonova Valeriya Sergeevna, Plotnikova Olga Alexandrovna

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

e-mail: lerabessonova1706@mail.ru, plotnikova_o_a@mail.ru

***Abstract.** The article discusses the environmental problems of modern gas processing. The example of a typical enterprise is recommended to reduce the level of negative impact on the environment.*

***Keywords:** gas processing plants, source of pollution, emissions, waste*

В связи с увеличением роста добычи и переработки природного газа увеличилось негативное воздействие газовой промышленности на состояние окружающей среды и, соответственно, на здоровье населения [1]. Предприятия газоперерабатывающей отрасли относятся к опасным производствам, требующим постоянного контроля техпроцессов, высокой эффективности очистных мощностей и мониторинга состояния окружающей производства среды.

Типичный газоперерабатывающий завод (ГПЗ) представляет собой предприятие, которое в первую очередь занимается переработкой природного и попутного газа и газового конденсата с целью получения товарного газа, а также углеводородов и их смесей. Эффективность и производительность газовой промышленности является важным фактором развития экономики России.

В настоящее время большое количество газоперерабатывающих заводов, которые были построены еще в период СССР, продолжают свое существование [2]. На сегодняшний период в состав газоперерабатывающих мощностей России входят приблизительно 27 предприятий, на которых необходимо наличие соответствующего оборудования для недопущения попадания в атмосферный воздух опасных компонентов. Главными источниками выбросов предприятий являются факелы, дымовые трубы, газопроводы, предохранительные клапаны, емкости, аварийные выбросы и т. п. [3, 4]. При оценке экологической опасности предприятий нужно также учитывать, что важную роль при возникновении ситуаций увеличения концентрации загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы играют неблагоприятные метеорологические условия [1].

Одной из основных проблем газоперерабатывающей промышленности РФ является морально и физически устаревшее оборудование, что приводит к ухудшению показателей технологических процессов, снижению качества товарной продукции, несоответствию выбросов экологическим нормам. Российские компании в настоящее время проводят ряд реконструкций и модернизаций. Очистные сооружения, являющиеся одним

из главных элементов на ГПЗ, влияют на технологический процесс, в котором используется оборотная вода в качестве промывки или охлаждения [5]. Соответственно, огромную роль играет тот факт, в каком состоянии находятся очистные сооружения.

Целью данной работы являлась экологическая оценка негативного воздействия одного из ведущих газоперерабатывающих предприятий ОАО «ЛУКОЙЛ» на состояние окружающей среды и разработка рекомендаций для обеспечения экологической безопасности.

ГПЗ, решая в целом энергосберегающие задачи (сокращение количества газа, сжигаемого на факелах и др.), сам является потребителем топливно-энергетических ресурсов. Процессы компримирования, подготовки и переработки нефтяного газа потребляют тепловую и электрическую энергию, а также сухой газ собственного производства и природный газ. Потребление энергоресурсов зависит от технологии переработки газа, качества сырья, глубины переработки и мощности предприятия. Значительное влияние на потребление энергоресурсов оказывает также единичная мощность и типы применяемого на заводе компрессорного, теплообменного и другого оборудования.

Технологическая схема газоперерабатывающего производства представлена на рис. 1. Продукция завода востребована как в собственном регионе, так и за его пределами. Потребителями газа являются предприятия и организации ряда районов области, включая ТЭЦ, муниципальные котельные, жилые дома и др.

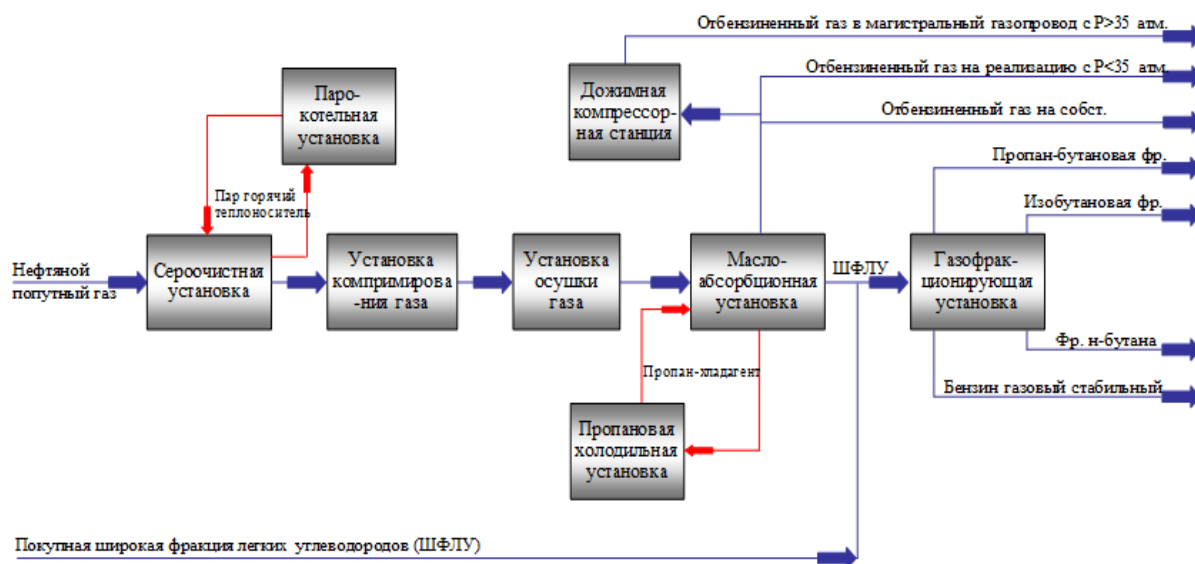


Рис. 1. Технологическая схема ГПЗ

Главными экологическими проблемами типичного ГПЗ являются:

1) загрязнение атмосферного воздуха (с каждым годом растет процентное содержание в газообразных выбросах азота, усугубляющее про-

блемы кислотных осадков, вызывающего в результате круговорота веществ процессы загрязнения не только атмосферного воздуха, но и водной, и почвенной сред);

2) негативное воздействие на водные объекты, а именно: загрязнение среды неочищенными стоками и химическими загрязнителями;

3) влияние на почвенный покров (образование отходов, повреждение почв и грунтов тяжелой техникой, загрязнение почвы химическими веществами, которые ведут к снижению плодородия почв).

На примере типового ГПЗ рассмотрим степень негативного воздействия газоперерабатывающего производства на состояние окружающей среды.

В настоящее время на предприятии имеется 66 источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, в том числе 47 организованных и 19 неорганизованных. Подлежат нормированию 59 источников выбросов, не подлежит нормированию 7 источников выбросов.

Распределение выбросов основных загрязняющих веществ, которые поступают от стационарных источников в атмосферный воздух, представлено на рис. 2.

Главными загрязняющими воздух веществами для газовой отрасли являются оксид углерода и диоксид серы.

Превышение ПДК на предприятии не наблюдается ни по одному веществу. Все выбросы направляются на факельное хозяйство, необходимости установки газоочистного оборудования нет.



Рис. 2. Распределение выбросов от стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха

Вокруг территории, на которой расположен изучаемый объект, проводится постоянный контроль загрязнения атмосферного воздуха в ближайших населенных пунктах и по всем точкам санитарно-защитной зоны.

На каждом этапе производства осуществляется контроль выбросов опасных веществ в окружающую среду посредством инструментальных

замеров концентраций возможных загрязнителей. Ведется диагностика процессов для своевременного обнаружения возможных утечек газа.

В соответствии с действующими санитарными нормами и правилами предприятие относится к 1 классу опасности (чрезвычайно высокий класс опасности), в соответствии с этим ориентировочный размер санитарно-защитной зоны (СЗЗ) составляет 1000 м. В границах СЗЗ жилая застройка, а также объекты соцкультбыта отсутствуют.

На предприятии функционирует система оборотного водоснабжения. На объектах работают 3 системы производственной канализации:

1) Производственно-ливневая канализация (первая)

Стоки образуются на технологических установках от сброса ливневых стоков с промплощадки. Загрязнение стоков происходит всеми видами перерабатываемых нефтепродуктов, механическими примесями, отработанным абсорбентом, химическими реагентами процесса химической водоочистки в котельной. Окончательная чистка (только от нефтепродуктов и взвешенных веществ) производится на фильтровально-насосной станции.

Очищенные стоки подаются в градирню для подпитки системы оборотного водоснабжения.

2) Производственно-ливневая канализация (вторая)

Стоки производственно-ливневой канализации образуются в результате отвода ливневых вод с территории наливной эстакады, а также в результате промывки, испытания емкостей, охлаждения сальников и подшипников технологических насосов. Стоки поступают самотеком в собственный пруд-отстойник, откуда напрямую по напорному коллектору перекачиваются насосной станцией в пруд-отстойник.

3) Производственная канализация условно чистых вод

Производственная канализация условно чистых вод – это система сбросов (аварийного, после продувок, в результате переливов) из оборотной системы водоснабжения на карты фильтрации.

На предприятии ведется биологическая очистка сточных вод на станциях биологической очистки «ЕВРОБИОН-БИОМАТРИКС-40» и «ЕВРОБИОН-БИОМАТРИКС-10».

На предприятии образуются отходы пяти классов опасности. Вид каждого отхода устанавливается в соответствии с федеральным классификационным каталогом отходов. Часть отходов утилизируется, остальное сдается на переработку специализированным организациям.

Анализ технической документации предприятия и состояния газоочистных установок позволяет заключить, что ряд очистных сооружений данного предприятия требуют реконструкции.

На данный момент в качестве внедрения новых объектов можно рекомендовать:

– установку нефтеловушки для очистки сточных вод от нефтепродуктов, чистку и ремонт пруда-отстойника,

- установку горизонтального отстойника,
- внедрение механических и сорбционных фильтров в насосно-фильтровальную станцию.

Реализация рекомендованных мероприятий по сокращению воздействия на окружающую среду приведет к соответствию предприятия и его деятельности требованиям экологической безопасности, законодательству РФ, что позволит снизить экологический ущерб окружающей среде.

Список литературы

1. Колокольцев С.Н. Газоперерабатывающие заводы: Современное состояние газоперерабатывающей промышленности РФ и стран ближнего зарубежья / С.Н. Колокольцев. М.: ЛЕНАНД, 2017. 232 с.
2. Колокольцев С.Н. Значение газовой промышленности для победы СССР в Великой Отечественной войне / С.Н. Колокольцев // Нефть, газ и бизнес. 2017. С. 39-46.
3. Башкирцева Н.Ю. Переработка природных газов: настоящее и будущее / Н.Ю. Башкирцева // Газовая промышленность. 2013. № 6. С. 86-87.
4. Агабеков В.Е. Нефть и газ. Технологии и продукты переработки: монография / В.Е. Агабеков, В.К. Косяков. Минск: Белорусская наука, 2011. 459 с.
5. Храмов Ю.В. Стратегии инновационного и производственного развития нефтегазохимического комплекса России: учеб пособие / Ю.В. Храмов. Казань: Изд-во КНИТУ, 2014. 220 с.

УДК 543.426

ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИЕ АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ: ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ВОДЕ

**Плотникова Ольга Александровна,
Тихомирова Елена Ивановна**

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А, Россия
e-mail: plotnikova_o_a@mail.ru*

Аннотация. Приведена характеристика органических загрязнителей, экотоксикантов – полициклических ароматических углеводородов, а также методов их определения. Представлены результаты экспериментальных исследований твердофазной люминесценции представителя ПАУ пирена на различных модифицированных поверхностно-активными веществами матрицах, которые могут быть использованы при разработке методов анализа ПАУ в экологическом мониторинге водных сред.

Ключевые слова: полициклические ароматические углеводороды, твердофазная люминесценция, сорбционное концентрирование

POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS: LUMINESCENT METHOD OF DETERMINATION IN WATER

Plotnikova Olga Alexandrovna, Tikhomirova Elena Ivanovna

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

e-mail: plotnikova_o_a@mail.ru

***Abstract.** The characteristics of organic pollutants, ecotoxicants – polycyclic aromatic hydrocarbons, as well as methods of determination are given. The results of experimental studies of solid-phase luminescence of the representative of PAH pyrene on various matrices modified with surfactants, which can be used in the development of methods for the analysis of PAHs in environmental monitoring of aquatic environments, are presented.*

***Keywords:** polycyclic aromatic hydrocarbons, solid-phase luminescence, sorption concentration*

Важной проблемой водного хозяйства является обеспечение экологической безопасности, которая напрямую зависит от качества воды водного объекта. В связи с повсеместным увеличением техногенной нагрузки на окружающую среду в водных объектах наблюдается повышение содержания различных токсичных веществ. В перечень приоритетных загрязнителей окружающей среды входят наиболее токсичные представители полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). ПАУ – это группа органических соединений, содержащих два и более бензольных кольца. ПАУ повсеместно распространены и являются побочными продуктами, образуемыми при сжигании ископаемых топлив, производствах химической, металлургической, целлюлозно-бумажной промышленности. Большая часть ПАУ обладает высокой устойчивостью, канцерогенной и мутагенной активностью. Агентство по охране окружающей среды США (EPA US) рекомендует контролировать 16 соединений из группы ПАУ в пробах окружающей среды, в то время как в странах Европы контролируется большее число исходных соединений и их алкилпроизводных. В России обязательному нормированию подлежит только одно соединение данного класса веществ – бенз[а]пирен. Однако обоснованность применения данного вещества как индикатора загрязнения окружающей среды ПАУ весьма проблематична [1]. В группу приоритетных ПАУ для поверхностных вод входят шесть представителей из шестнадцати. Присутствие ПАУ в поверхностных водах свидетельствует об угрозе здоровью населения. Поступление ПАУ в водную среду возможно непосредственно из атмосферы, из расположенных выше по течению реки источников, а также в результате взмучивания верхнего слоя донных отложений. Выявлено обогащение ледового покрова большинством ПАУ, что может быть связано с их гидрофобными свойствами, что приводит к поднятию к поверхности взвеси и углеводородной пленки, обогащенных полиаренами, с последующим вмерзанием в лед.

Многие ПАУ могут принимать участие в круговороте веществ. Так, например, ПАУ распространяются на значительные территории с атмосферными осадками, содержащими твердые частички, попадают в водоемы, вновь при испарении поднимаются в воздух.

Концентрация ПАУ в воде варьируется в зависимости от типа водного объекта. Поверхностные воды могут быть сильно загрязнены ПАУ техногенного происхождения. Основным источником ПАУ в питьевой воде – часто не вода, поданная в распределительную систему, а ненадлежащее состояние самой распределительной системы [2].

Для ПАУ установлены крайне низкие уровни допустимых концентраций в природных объектах, что осложняет процедуру химического анализа. Определение таких концентраций требует высокотехнологических методов анализа, характеризующихся трудоемкой и долгой процедурой определения. Большинство методик включают стадию пробоподготовки образца: жидкостную экстракцию, микроэкстракцию, твердофазную экстракцию и др. [2].

Для количественного определения ПАУ чаще всего применяются хроматографические методы [3, 4]. Однако в последние годы все большее распространение получили методы люминесцентной спектрометрии [5]. Для определения ПАУ люминесцентные методы особенно перспективны, поскольку многие представители этого класса соединений обладают высокими значениями квантового выхода собственной флуоресценции [5]. Востребованность данных методов для определения ПАУ в окружающей среде сопряжена с рядом их важных преимуществ, таких как высокая чувствительность, большие линейные диапазоны определяемых концентраций, низкие пределы количественного определения при уровнях концентрации нг/мл.

Для увеличения сигнала флуоресценции ПАУ и повышения чувствительности методов их определения часто применяют мицеллярные среды на основе различных поверхностно-активных веществ (ПАВ). Используя мицеллярные среды, можно изменить растворимость и микроокружение аналитов, а также увеличить их люминесцентный сигнал [6]. Авторы работы [7] изучили влияние нескольких водных мицеллярных систем на флуориметрическое определение пирена, фенантрена, бенз[а]пирена, аценафтена и флуорена и применили свой метод к пробам водопроводной и речной воды с повышенным содержанием этих ПАУ.

Другим методом увеличения чувствительности и снижения пределов обнаружения веществ является метод твердофазной люминесценции (ТФЛ). Для этих целей используют различные матрицы [8-10].

Большой интерес представляет возможность сочетания твердофазной экстракции с флуоресцентным определением вещества непосредственно в твердой фазе. Такой подход применен в работе [11] для скрининга ПАУ на октадецильных мембранах с лазерно-индуцированным флуориметрическим анализом.

Целью научных исследований в данной работе являлся подбор оптимальных условий твердофазного люминесцентного метода определения ПАУ путем предварительного сорбционного концентрирования модифицированными поверхностно-активными веществами матрицами.

Экспериментально подтвержден факт возрастания интенсивности люминесценции сорбированных на твердых матрицах веществ. Так, интенсивность флуоресценции модельного соединения – наименее токсичного представителя ПАУ пирена на гидрофильной целлюлозной и гидрофобных полипропиленовой и вязкой матрицах выше, чем в водных растворах, из которых осуществлялась его сорбция. Это связано с потерей молекулами пирена подвижности при сорбции и увеличением вероятности излучательных люминесцентных переходов (флуоресценция) из первого синглетного возбужденного состояния в основное. Наибольший сигнал твердофазной люминесценции пирена при этом получен на гидрофобных полипропиленовой и вязкой матрицах, что объясняется большей эффективностью сорбции гидрофобного пирена из воды на гидрофобные матрицы, нежели на гидрофильную целлюлозную матрицу.

Применение в качестве модифицирующих матрицу агентов ПАВ приводит к возрастанию интенсивности ТФЛ пирена. При этом максимальные сигналы удалось получить на вязкой матрице при ее модифицировании неионогенным ПАВ Тритоном X-100 и катионным ПАВ – цетилтриметиламмония бромидом.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке метода идентификации и количественного определения ПАУ в экологическом мониторинге водных сред для обеспечения постоянного контроля и охраны окружающей среды.

Список литературы

1. Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнителей / В.Н. Майстренко, Н.А. Ключев. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.
2. Лобанов А.Ю. Определение полиароматических углеводородов в продуктах питания и объектах окружающей среды методом поляризационного флуоресцентного иммуноанализа / А.Ю. Лобанов и др. // WWW.MEDLINE.RU. 2007. Т. 8. С. 169-183.
3. Wise S.A. Analytical methods for determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) – A Historical perspective on the 16 U.S. EPA priority pollutant PAHs / S.A. Wise, L.C. Sander, M.M. Schantz // Polycyclic Aromatic Compounds. 2015. V. 35. P. 187-247.
4. Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in environmental samples: A critical review of gas chromatographic (GC) methods / D.L. Poster [at al.] // Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2006. V. 386. P. 859-881.
5. Luminescence methods for study and determination of pollutants in the environment / T.V. Morales [at al.] // Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering. 2010. V. 29, № 1. P. 1-42.

6. Environmental analytical applications of luminescence in organized supramolecular systems / J.J. Santana Rodriguez [at al.] // *Anal. Bioanal. Chem.* 2006. V. 385. P. 525-545.
7. Lazaro E. Determination of five polycyclic aromatic hydrocarbons in aqueous micellar media by fluorescence at room temperature / E. Lazaro, M.P. San Andres, S. Vera // *Anal Chim Acta.* 2006. V. 413. P. 159-166.
8. Bortolato S.A. A novel application of nylon membranes to the luminescent determination of benzo[a]pyrene at ultra trace levels in water samples / S.A. Bortolato, J.A. Arancibia, G.M. Escandar // *Analytica Chimica Acta.* V. 613. P. 218-227.
9. The development of solid-surface fluorescence characterization of polycyclic aromatic hydrocarbons for potential screening tests in environmental samples / J.F. Fernandez-Sanchez [at al.] // *Talanta.* 2003. V. 60. P. 287-293.
10. Ackerman A.H. Methods for coating filter paper for solid-phase microextraction with luminescence detection and characterization of the coated filter paper by infrared spectrometry / A.H. Ackerman and R.J. Hurtubise // *Anal. Chim. Acta.* 2002. V. 474. № 1-2. P. 77-89.
11. Whitcomb J.L. Time-resolved laser-induced fluorimetry for screening polycyclic aromatic hydrocarbons on solid-phase extraction membranes / J.L. Whitcomb, A.J. Bystol, A.D. Campiglia // *Anal. Chim. Acta.* 2002. V. 464. P. 261-272.

УДК 628.47:620.97

ТВЕРДЫЕ КОММУНАЛЬНЫЕ ОТХОДЫ КАК ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ

**Симонова Зоя Александровна, Житлова Елена Алексеевна,
Наумова Виктория Валерьевна**

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., Россия*

e-mail: simonovaza@yandex.ru, a_zhitlova@mail.ru, vikan1997@yandex.ru

***Аннотация.** Рассчитана возможность создания теплицы для круглогодичного выращивания растений общей площадью 6500 м², работающей на энергии, образующейся при деструкции твердых коммунальных отходов, захороненных на полигоне.*

***Ключевые слова:** твердые коммунальные отходы, биогаз, энергетический ресурс*

MUNICIPAL SOLID WASTE AS AN ENERGY SOURCE

**Simonova Zoya Aleksandrovna, Zhitlova Elena Alekseevna,
Naumova Viktoriya Valerievna**

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

e-mail: simonovaza@yandex.ru, a_zhitlova@mail.ru, vikan1997@yandex.ru

***Abstract.** It is intended the ability to create a greenhouse for year-round production of plants with a total area of 6500 m². It will operate on LFG energy from the land plot of municipal unitary enterprise.*

***Keywords:** municipal solid waste, landfill gas (LFG), energy resource*

За последнее время законодательство в области обращения с отходами претерпело серьезнейшие и кардинальные изменения, которые затронули практически все аспекты данной сферы, в том числе и проблемы наиболее часто образуемых твердых коммунальных отходов (ТКО).

Анализ системы обращения с отходами на территории Саратовской области показал, что в данной сфере существует ряд значимых проблем, одна из которых связана с наличием большого количества депонированных отходов, представляющих интерес как ресурс, обладающий материальной и энергетической ценностью. Приоритетным способом утилизации ТКО в регионе является захоронение отходов, что приводит к росту полигонов, увеличению процента отчуждаемых территорий [1]. Существующие в области лицензированные полигоны ТКО, в большинстве, не отвечают современным требованиям организации и функционирования. Они обладают неблагоприятным экологическим эффектом для окружающей среды, в частности для атмосферного воздуха, и создают крайне опасную санитарно-эпидемиологическую обстановку.

В настоящее время на региональном уровне, вслед за федеральными нововведениями активно обсуждаются вопросы, связанные с рассмотрением отходов как вторичных ресурсов, которые можно вернуть в производство, способствуя частичному решению многих социально-экономических вопросов, и снизить негативное загрязнение основных компонентов окружающей среды и угрозу истощения природных ресурсов. Одним из подходов, направленных на решение данных вопросов, является использование свалочного биогаза, в составе которого содержится метан – ценный энергетический ресурс и сильный парниковый газ [2].

Сбор биогаза для последующего его энергетического использования является одной из актуальных задач России, так как представляет собой эффективный способ обеспечения экологической безопасности. В Европе технология добычи тепловой энергии и электричества через биологическое разложение отходов используется относительно давно и находит все большее признание. В нашей стране этот вопрос развивается очень медленно, что обусловлено отсутствием экономической заинтересованности со стороны предприятий, непроработанностью методических подходов к определению объема и скорости образования биогаза, периода его интенсивного выделения.

Однако согласно Федеральному закону «Об отходах производства и потребления» [3] необходимо создать и модернизировать инфраструктуры для переработки и утилизации отходов, обеспечить максимальный возврат отходов в производственный цикл, поставить приоритет утилизации отходов перед их захоронением.

Нами были произведены гипотетические расчеты по возможности использования ТКО в качестве источников энергии. Расчеты выполнялись для полигона, расположенного на окраине г. Саратова в юго-западном

направлении, как одного из наиболее крупных за период с 2020 до 2027 года функционирования. В качестве модельного объекта была выбрана теплица для выращивания цветов, рассады или овощей с круглогодичным режимом работы.

Прежде чем провести данные расчеты, нами для рассматриваемого полигона ТКО определялся метановый потенциал, или потенциал образования биогаза, который используется в некоторых моделях для прогноза ежегодного выделения биогаза от складированных отходов на объектах захоронения [4]. Метановый потенциал ТКО на полигоне в среднем составлял $60,1 \text{ м}^3/\text{т}$.

С учетом данного показателя, используя модель Табасарана – Реттенбергера, были рассчитаны удельные объемы биогаза и метана, поступающие в атмосферу от полигона с 2020 года, на перспективу до года окончания функционирования объектов.

Результаты расчетов по рассматриваемому полигону представлены в табл. 1.

Таблица 1

Эмиссия биогаза и метана от полигона

Год	Возраст полигона, лет	Количество отходов, генерирующих биогаз, т	Количество биогаза			Количество метана	
			млн. $\text{м}^3/\text{год}$	тыс. т/год	$\text{м}^3/\text{м}^2$ в сутки	млн. $\text{м}^3/\text{год}$	тыс. т/год
2020	16	998800	60,03	74,9	0,7	31,81	39,6
2021	17	1084400	65,17	81,3	0,76	34,54	43,02
2022	18	1170000	70,32	87,7	0,82	37,27	46,4
2023	19	1255600	75,46	94,1	0,88	40	49,8
2024	20	1341200	80,61	100,6	0,94	42,72	53,2
2025	21	1255600	75,5	94,1	0,88	40	49,8
2026	22	1170000	70,3	87,7	0,82	37,27	46,4
2027	23	1084400	65,2	81,3	0,76	34,54	43,02

Далее полученные значения использовались нами для ежегодного энергетического расчета полигона при условии, что полигон представляет собой биореактор с КПД 90 % и теплота сгорания биогаза $6,66 \text{ Гкал}/\text{тыс. м}^3$. Расчет потребления энергии в теплице производился с учетом того, что теплица будет работать круглогодично; внутренняя температура, необходимая для растений, будет составлять $+20^\circ \text{C}$; минимальная пиковая температура может достигать -30°C ; при выращивании растений будет использоваться верхняя досветка. Результаты представлены в табл. 2.

Путем подбора мы определили, что возможное количество энергии, образующееся при деструкции ТКО, достаточно будет для теплицы общей площадью 6500 м^2 , сделанной из однокамерного сотового поликарбоната толщиной 8 мм.

Энергетический расчет полигона

Год	Количество энергии в год					
	тыс. Гкал		МВт		кВт	
	в год	в сутки	в год	в сутки	в год	в сутки
2020	448,9	1,23	522,044	1430,259	522044	1430259
2021	487,35	1,34	566,785	1552,836	566785	1552836
2022	524,82	1,44	611,526	1675,413	611526	1675413
2023	564,29	1,55	656,266	1797,99	656266	1797990
2024	602,76	1,65	701,007	1920,567	701007	1920567
2025	564,29	1,55	656,266	1797,99	656266	1797990
2026	525,82	1,44	611,526	1675,513	611526	1675513
2027	487,35	1,34	566,785	1552,836	566785	1552836

Потребности теплицы в тепловой энергии определялись по формуле (1):

$$Q = k_m \times S \times (T_{\text{вн}} - T_{\text{нар}}) \times k_{\text{инф}}, \quad (1)$$

где k_m – коэффициент теплопередачи обшивки (для сотового поликарбоната толщиной 8 мм равен 3,3);

S – площадь теплицы, м^2 ;

$T_{\text{вн}}$ – внутренняя температура, необходимая для растений; составляет $+20^\circ \text{C}$;

$T_{\text{нар}}$ – минимальная пиковая температура; равна -30°C ;

$k_{\text{инф}}$ – коэффициент инфильтрации, отображающий потери тепла через неплотные примыкания и зазора (в среднем равняется 1,25).

В результате для теплицы площадью 6500 м^2 для поддержания тепла необходимо 1340625 кВт энергии.

Оптимальной нормой облученности в теплице для выращивания продукции при условии фотопериода 16 ч, является $1,6 \text{ кВт} \times \text{ч} / \text{м}^2 \times \text{сутки}$ [6]. Таким образом, для моделируемой теплицы необходимо $1,6 \text{ кВт} / \text{ч} / \text{м}^2 \times 6500 \text{ м}^2 = 10400 \text{ кВт}$ в день.

Произведя сложение полученных величин, получили, что для теплицы в сутки минимально необходимо 1351025 кВт энергии.

Биогаз полигона с 2020 года может давать от 1430259 кВт энергии в сутки, чего достаточно для функционирования теплицы. Однако для применения данной технологии необходимо проводить расчет ее эколого-экономической эффективности, что будет являться объектом дальнейших исследований.

Список литературы

1. Территориальная схема обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами в Саратовской области: Утв. Министерством природных ресурсов и экологии. – Саратов, 2020. – 225 с.

2. Ильиных Г.В. Управление метановым потенциалом твердых бытовых отходов путем их предварительной обработки / Г.В. Ильиных [и др.]. // Экология и промышленность России. 2013. № 11. С. 22-25.

3. Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» (с изменениями от 07.04.2020 № 117-ФЗ). Доступ из справ.-системы «Консультант плюс». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/. Режим доступа свободный (дата обращения 18.11.2020).

УДК 556.31

ЭНТРОПИЙНО-ИНФОРМАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Симонян Геворг Саркисович¹, Сагратян Артур Аразатович²,
Симонян Арсен Геворгович¹, Маргарян Лиана Арменовна¹

¹Ереванский государственный университет, Ереван, Армения

e-mail: sim-gev@mail.ru, Sim-simov@mail.ru, liana_margaryan@yahoo.com

²ЗАО «Веолиа Джур», Ереван, Армения, e-mail: sahart91@mail.ru

Анотация. Показано, что воды скважин питьевой воды села Агарцин гидрокарбонатного класса, а количество главных ионов, общего железа, соединений азота, взвешенных частиц, а также минерализация, жесткость и водородный показатель воды соответствуют санитарным нормам питьевой воды. Установлено, что значение большинства показателей качества воды весной на 5-20 % выше, чем осенью. Качество вод скважин оценено также с помощью энтропийного индекса качества воды. Получается, что качество воды скважин села Агарцин хорошее.

Ключевые слова: подземная вода, экологическое состояние энтропийный индекс качества воды

ENTROPIC-INFORMATION ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF GROUNDWATER

Simonyan Gevorg Sarkisovich¹, Sagratyan Artur Harazatovich²,
Simonyan Arsen Gevorgovich¹, Margaryan Liana Armenovna¹

¹Yerevan State University, Yerevan, Armenia

e-mail: sim-gev@mail.ru, Sim-simov@mail.ru, liana_margaryan@yahoo.com

²Veolia Djur CJSC, Yerevan, Armenia, e-mail: sahart91@mail.ru

Abstract. It is shown that the waters of drinking water wells in the village of Haghartsin are of hydrocarbonate class, and the amount of main ions, total iron, combined nitrogen, suspended particles, as well as salinity, hardness and pH of the water correspond to the sanitary standards of drinking water. It was found that the value of most water quality indicators in spring is 5-20 % higher than in autumn. The water quality of the wells was also assessed using the entropy index of water quality. It turns out that the water quality of the wells in the village of Haghartsin is good.

Keywords: underground water, ecological state. entropy index of water quality

Разработка методов оценки качества воды с помощью условных показателей, комплексно учитывающих различные свойства подземных вод, является важной проблемой. Изучение экологического состояния подземных

вод РА имеет важное значение как для оценки качества воды данных водных объектов, так и для их дальнейшего рационального использования. Комплексная оценка является исключительно трудной задачей, требующей одновременного учета самых разнообразных свойств водного объекта. Для оценки степени загрязненности воды используются комплексные показатели, которые позволяют количественно оценить загрязненность воды одновременно по широкому перечню показателей качества. Следует отметить, что большинство разработанных к настоящему времени комплексных характеристик состояния водных объектов так или иначе связано с существующими предельно допустимыми концентрациями (ПДК) [1]. В последние годы для комплексной оценки качества поверхностных вод нами предлагался энтропийный индекс качества воды (ЭИКВ) [2-7].

Целью данной работы является оценка качества воды скважин № 605, 1902 и 2058 села Агарцин по санитарно-гигиеническим нормам питьевой воды, а также с помощью ЭИКВ.

В таблице приведено количество главных ионов, общего железа, соединений азота, взвешенных частиц, а также минерализация, жесткость и водородный показатель воды скважин № 605, 1902 и 2058 села Агарцин. По имеющимся данным, родниковые воды скважин села Агарцин гидрокарбонатного класса. Последнее обусловлено геологическим строением местности. Известно, что на территории Тавушского марза Армении было древнее море, дно которого совпадает с кровлей известнякового пласта. Осадочные карбонатные породы (известняк, доломиты) определяют концентрацию углеводородных ионов.

Количество и санитарные нормы (СН)
некоторых показателей воды скважин села Агарцин

Показатель	Скважина № 605		Скважина № 1902		Скважина № 2058		СН[8]
	Весна	Осень	Весна	Осень	Весна	Осень	
Na ⁺ , мг/л	58,40	39,60	63,01	33,11	117,45	96,42	200
K ⁺ , мг/л	4,18	2,13	5,00	2,10	1,37	1,41	–
Ca ⁺² , мг/л	80,16	58,78	84,17	56,11	86,75	90,70	–
Mg ⁺² , мг/л	1,00	1,53	0,4	1,97	24,38	23,96	–
HCO ₃ ⁻ , мг/л	338,65	305,10	326,46	323,41	588,84	503,42	–
SO ₄ ⁻² , мг/л	44,00	29,10	37,20	20,20	75,50	73,70	500
СГ, мг/л	34,5	8,18	41,7	6,82	13,98	16,82	–
NH ₄ ⁺ , мг/л	0,07	0,05	0,07	0,04	0,03	0,04	–
NO ₃ ⁻ , мг/л	3,60	18,50	3,80	16,60	9,90	9,50	45
NO ₂ ⁻ , мг/л	0	0,003	0,027	0	0,001	0,004	–
Общ. Fe, мг/л	0,003	0,011	0,003	0,008	0,159	0,033	0,3
Жесткость, мгэкв/л	5,00	4,50	4,60	4,80	6,40	6,80	7,0
Взв. вещества, мг/л	0,50	7,20	0,60	8,20	1,0	17,6	–
Минерализация, мг/л	561,14	444,53	558,94	443,79	908,23	806,43	1000
pH	7,6	7,1	7,9	7,6	7,1	7,4	6-9

Подземные воды, богатые углекислым газом, контактирующие с карбонатными породами – известняком, мергелем, углеводородным кальцитом, имеют относительно высокую минерализацию – 400-1000 м /л. Установлено, что количество главных ионов, общего железа, соединений азота, взвешенных частиц, а также минерализация, жесткость и водородный показатель воды соответствуют санитарным нормам питьевой воды республики Армения. Следует отметить, что значение большинства показателей качества воды весной на 15-20 % выше, чем осенью.

Загрязнение подземных вод соединениями азота в основном связано с животноводством. Само собой разумеется, что около этих скважин организованы санитарно-защитные мероприятия, в первую очередь создана санитарная зона для предотвращения проникновения домашнего скота.

В данной статье качество воды скважин села Агарцин оценивалось с помощью энтропийного индекса качества воды. Установлено, что в воде регулярно превышает ПДК ванадия, алюминия, марганца и т. д. Для определения значений ЭИКВ используется следующий вычислительный алгоритм [2-7]:

1. Определяются числа случаев превышения ПДК i -го вещества или показателя воды – n .

2. Оценивается общая сумма случаев превышений ПДК (N) – $N = \sum n$.

3. Вычисляются $\log_2 N$, $n \log_2 n$ и $\sum n \log_2 n$.

4. Рассчитывается геоэкологическая синтропия (I) [9] и энтропия (H) [10]:

$$I = \sum n \log_2 n / N \text{ и } H = \log_2 N - I.$$

5. После чего определяется ЭИКВ = H / I .

Например, в скважине № 605 для V, Al, и Mn число случаев превышения ПДК соответственно 2, 4, и 3 раза. Сумма случаев превышений ПДК – $N = 9$, $\sum n \log_2 n = 14,75$, $I = 14,75/9 = 1,64$ $H = \log_2 9 - 1,64 = 1,51$, $\text{ЭИКВ} = 1,51/1,64 = 0,926$. Это свидетельствует о том, что качество воды скважин села Агарцин хорошее.

Список литературы

1. Никаноров А.М. Научные основы мониторинга качества воды. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 2005. 577 с.

2. Пирумян Г., Пирумян Э., Симонян Г., Симонян А. Метод определения уровня загрязнения воды. Патент РА № 3063А (2016) (на армянском).

3. Симонян Г.С., Симонян А.Г. Энтропийный подход к оценке хаоса и порядка биологических систем // Успехи современного естествознания. 2015. № 9. С. 100-104.

4. Pirumyan G.P., Simonyan G.S., Margaryan L.A. Geoeological Evaluational Integrating Index of Natural Waters and other Systems. Yerevan: Copy Print LTD. 2019, 244 p.

5. Simonyan G.S., Simonyan A.G., Pirumyan G.P. Systemic-entropy approach for estimating the water quality of a river // Oxidation Communications 2018, V. 41, № 2, P. 307-317.

6. Simonyan G.S., Simonyan A.G., Sayadyan M.L., Sarsekova D.N., Pirumyan G.P. Analysis of Environmental Status of Wood and Shrub Vegetation by the Armenian Index of Environmental Quality // Oxidation Communications 2018, V. 41, № 4, P. 533-541.

1. Simonyan G.S. Systemic-entropic Approach for Assessing Water Quality of Rivers, Reservoirs, and Lakes. Inland Waters – Dynamics and Ecology, London, IntechOpen, 2019. 20 p. doi:10.5772/intechOpen. 93220.

7. Simonyan G.S Evaluation of the Influence of Nitrogen on the Stability of Naptic Systems with the Help of Geocological Evolving Organized Index. Oxid Commun, 2019, V. 42, № 3, P. 529-539.

8. Приказ министра здравоохранения РА 25 декабря 2002 года, № 876 «Питьевая вода. гигиенические требования к качеству воды в центральном водоснабжении контроль качества» № 2-III-A2-1 об утверждении санитарных норм и правил. <https://www.arlis.am/documentview.aspx?docID=37855> (на армянском).

9. Симонян Г.С. Оценка состояния гидроэкологических систем в свете синергической теории информации // Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Экологическая безопасность и природопользование: наука, инновации, управление. Махачкала: АЛЕФ, 2013. С. 275-280.

10. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. М.: ИЛ, 1963. 830 с.

УДК 666.97.031.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ШЛАМА В БЕТОННЫХ СМЕСЯХ

Татаринцева Елена Александровна, Комиссаренко Мария Викторовна

Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А., Россия

e-mail: tatarinceva-elen@mail.ru, komissarenko97@mail.ru

Аннотация. В работе представлены результаты исследования по использованию гальванического шлама, отхода гальванического цеха, для получения бетонных смесей. Показано, что введение гальваношлама после его химической и физической модификации в количестве 3-5 % масс. от массы цемента позволяет получить бетон соответствующий требованиям по прочности, морозостойкости и водонепроницаемости.

Ключевые слова: гальванический шлам, утилизация отходов, строительные материалы

RESEARCH OF THE POSSIBILITY OF USING GALVANIC SLUDGE IN CONCRETE MIXES

Tatarintseva Elena Alexandrovna, Komissarenko Maria Viktorovna

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

e-mail: tatarinceva-elen@mail.ru, komissarenko97@mail.ru

Abstract. The paper presents the results of research on the use of galvanic sludge, waste of the galvanic shop, to obtain concrete mixtures. It is shown that the introduction of galvanic sludge after its chemical and physical modification in the amount of 3-5 % of the mass. from the mass of cement allows you to obtain concrete that meets the requirements for strength, frost resistance and water resistance.

Keywords: galvanic sludge, waste disposal, building materials

Гальванические шламы (ГШ) образуются после очистки сточных вод гальванических производств реagentным методом.

Исследуемый гальванический шлам содержит в своем составе гидроксиды тяжелых металлов (ТМ): Cu, Ni, Cr, Mn, Fe, Zn и имеет III класс опасности. После процесса химической и физической модификации ГШ [1, 2] образуется порошок черного цвета, состоящий из активных тонкодисперсных частиц соединений металлов гидратированных окислов железа. Удельная поверхность такого термообработанного продукта составляет 1800-3000 см²/г, что соответствует удельной поверхности портландцемента.

При этом снижается класс опасности материала с III до IV, что доказано методом биотестирования. Для оценки токсичности материалов применяются наиболее широко распространенные в России биотесты, это методы с использованием ряда эвритопных видов, например, зеленых микроводорослей *Scenedesmus quadricauda* и ракообразных – *Daphnia magna* [3].

Из анализа литературных данных известна возможность утилизации ГШ в различные строительные изделия [4-6], что способствует снижению себестоимости продукции, приданию ей специфических свойств (различный цвет), а также способствует решению экологических проблем – утилизация отходов промышленности.

В качестве объекта исследования использовался модифицированный гальванический шлам в качестве добавки в технологии производства бетона для изделия «Тротуарная плитка», марка бетона М 400, изделия «Плиты железобетонные для покрытий городских дорог» М 300.

В состав бетона входили: цемент – портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н (ГОСТ 31108-2016), речной песок (модуль крупности песка 1,03), щебень гранитный (марка 1400 фракции 5 × 20 мм), вода в различном соотношении в зависимости от марки бетона и модифицированный гальванический шлам (МГШ), который составлял 3 % масс. и 5 % масс. от всей массы цемента, рис. 1.

Испытания образцов при определении марочной прочности бетона проводили в соответствии с ГОСТ 7473-2010, 28570-90, 18105-2010, 10180-2012 (табл. 1).

Таблица 1

Результаты испытаний бетонных смесей

Наименование	М300		ГОСТ М300	М400		ГОСТ М400
	МГШ 5 %	МГШ 3 %		МГШ 5 %	МГШ 3 %	
Осадка конуса, см	5	4	5-9	8 ± 1	8 ± 1	5-9
Прочность после ТВО, МПа	23	25,4	27	25,5 ± 0,1	24,0 ± 0,1	27,0 ± 5,4
Прочность 28 сут, МПа	27	28,9	29,45	35,7 ± 0,1	33,5 ± 0,1	39,3 ± 7,8



Рис. 1. Изготовление образцов бетона

Из результатов испытаний следует, что бетон МГШ по осадке конуса можно отнести к марке П1, бетон получается более пластичным и текучим [7], полученные образцы по показателям прочности соответствуют ГОСТу, погрешность составляет менее 10 %.

Основная причина разрушения бетона под воздействием низких температур – расширение воды в порах материала при замерзании. Показатели морозостойкости бетона отражают количество циклов заморозания-оттаивания, выдерживаемые бетоном.

Полученные образцы испытывали согласно ГОСТу 10060-2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости» и ГОСТу 12730.5-2018 «Бетоны. Методы определения водонепроницаемости».

Образцы выдержали 5 циклов испытаний, что соответствует марке бетона по морозостойкости F 200.

Контрольные образцы, изготовленные из бетонных смесей с добавкой для бетонов Кратасол ПФМ тип-5/1, в промежуточном возрасте 28 сут выдержали 6 циклов испытания, что соответствует марке по водонепроницаемости не менее W12, табл. 2.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлена возможность использования отходов гальванического производства в строительных изделиях в количестве 3-5 % без ущерба для их прочностных характеристик.

Результаты испытаний водонепроницаемости

Маркировка	Дата приложения давления воды	Время приложения давления, час	Давления, МПа	Номер образца, прохождение воды на поверхность (выдержал/пятно)				Марка бетона по вод-ти
				1	2	3	4	
15.11.19 «КСХ» 1,2,3,4	19.12.19	8:00-24:00	0,2	Выдерж	Выдерж	Выдерж	Выдерж	W12
	19.12.19	0:00-16:00	0,4	Выдерж	Выдерж	Выдерж	Выдерж	
	19.12.19-20.12.19	16:00-8:00	0,6	Выдерж	Выдерж	Выдерж	Выдерж	
	20.12.19	8:00-24:00	0,8	Выдерж	Выдерж	Выдерж	Выдерж	
	21.12.19	0:00-16:00	1,0	Выдерж	Выдерж	Выдерж	Выдерж	
	21.12.19-22.12.19	16:00-98:00	1,2	пятно	Выдерж	Выдерж	Выдерж	
	22.12.19	8:00-24:00	1,4	–	Выдерж	Выдерж	Выдерж	

Список литературы

1. Долбня И.В., Татаринцева Е.А., Козьмич К.В. Исследование процесса ферритизации гальванического шлама // Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики. В 5 т. Т. 2. Актуальные проблемы экологии и охраны окружающей среды: материалы XIII Междунар. научно-практической конференции, Тольятти. 21-24 апреля 2016 г. – Тольятти: Волжский университет имени В.Н. Татищева, 2016. С. 165-167.
2. Долбня И.В., Татаринцева Е.А., Козьмич К.В. Композиционный материал на основе отходов гальванического производства (гальваношлама) и полиэтилена // Перспективные полимерные композиционные материалы. Альтернативные технологии. Переработка. Применение. Экология: доклады Международной конференции «Композит-2016». – Энгельс: ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А., 2016. С. 378-382.
3. Влияние модификации на токсичность сорбционных материалов, предназначенных для очистки сточных вод / Е.А. Татаринцева, И.В. Долбня, Е.А. Бухарова, Л.Н. Олышанская, Е.Н. Лазарева // Экологическая химия. 2019. № 28 (3). С. 140-146.
4. Сметанин И.С. Комплексное исследование гальванического шлама, а также установление возможности его использования для получения объемно окрашенной тротуарной плитки с требуемым комплексом цветовых и физико-технических характеристик. Курск: КЭМТ, 2017. С. 46-49.
5. Белкин А.А. Исследование возможности переработки гальванических шламов путем введения их в строительные материалы // Студенческий форум: электрон. научн. журн. 2017. № 16(16). URL: <https://nauchforum.ru/journal/stud/16/26082> (дата обращения: 21.03.2019).
6. Баженов Ю.М., Шубенкин П.Ф., Дворкин Л.И. Применение промышленных отходов в производстве строительных материалов. М.: Стройиздат, 1986. 54 с.
7. Плиты бетонные тротуарные. Технические условия. ГОСТ 17608-91.

**ПРОЕКТНАЯ РАЗРАБОТКА БЛАГОУСТРОЙСТВА
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ГОРОДА САРАТОВА
(НА ПРИМЕРЕ ЖИЛОГО МАССИВА
КИРОВСКОГО РАЙОНА)**

Фомина Алла Анатольевна, Абашина Анастасия Александровна
*Саратовский государственный технический
университет имени Гагарина Ю.А., Россия*
e-mail: cool-nastua-e2014@yandex.ru, fomina-aa@mail.ru

***Аннотация:** В последние годы со стороны государственной власти большое внимание уделяется благоустройству территории урбосистем. Особенно нуждаются в благоустройстве «старые» районы города, в состав которых входит изучаемая территория. Предложено два варианта благоустройства квартала: дорогостоящий и экономичный. В проекте проработаны вопросы озеленения территории и обустройства мест массового отдыха населения.*

***Ключевые слова:** городская среда, благоустройство территории, озеленение, Кировский район, Саратов*

**PROJECT DEVELOPMENT OF IMPROVEMENT OF THE CENTRAL
PART OF THE CITY OF SARATOV (ON THE EXAMPLE
RESIDENTIAL AREA OF THE KIROV DISTRICT)**

Fomina Alla Anatol'evna, Abashina Anastasia Aleksandrovna
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia
e-mail: cool-nastua-e2014@yandex.ru, fomina-aa@mail.ru

***Abstract:** In recent years much attention is paid by state authorities on improvement of the territory of the city, the urban systems. Especially the «old» districts of the city, which include the territory under study, are particularly in need of improvement. Two options for the improvement of the quarter were proposed: expensive and economical. The project has worked out the issues of landscaping the territory and arrangement of places for mass recreation of the population.*

***Keywords:** urban environment, improvement of the territory, landscaping, Kirovsky district, Saratov*

Городская среда нуждается в благоустроенных, экологически чистых и безопасных территориях. Однако в связи с ростом городского населения и стремительными темпами развития территорий, недостаточным финансированием из федерального бюджета не все районы города Саратова остаются благоустроенными и комфортными для проживания населения. Особенно нуждаются в благоустройстве «старые» районы города, в состав которых входит изучаемая территория.

Подходя к изучению Кировского района, важно отметить, что район занимает большую площадь и расположен в центральной части города Саратова, поэтому он имеет большие контрасты в благоустройстве отдельных территорий (кварталов).

Наиболее точным и полным определением благоустройства территории можно считать комплекс мероприятий по содержанию территории, направленных на обеспечение безопасности и комфортности условий проживания граждан, поддержание и улучшение санитарно-эстетического состояния территории [1].

Целью данного проекта является повышение уровня благоустройства жилого квартала между улицами Танкистов, Навашина и Зенитной и Геофизической Кировского района муниципального образования «Город Саратов».

Задачами данного проекта являются:

1. Организация озеленения территории района.
2. Создание условий для массового отдыха жителей района: обустройство мест массового отдыха населения.

Ожидаемые социальные и экологические результаты данного проекта:

- поддержание чистоты и порядка на территории жилого квартала Кировского района;
- оздоровление и восстановление зеленых насаждений;
- обустройство мест отдыха местного населения.

При анализе благоустройства Кировского района руководствовались положениями СП 42.13330.2011 и Градостроительным кодексом РФ.

На территории жилого квартала расположены 7 жилых домов высотой 5 и 9 этажей. Средний размер 5-этажного здания составляет 10 × 100 м, а 9-этажного – 60 × 15 м. Среднее расстояние между длинными сторонами домов составляет 40-60 м, что соответствует нормативам.

Объектом проектирования служил жилой участок между улицами Танкистов, Навашина, Геофизическая и Зенитная с домами: № 63, № 65, № 63 «А», № 65 «А», № 67, № 1/13, № 3. Его общая площадь составляет 5,5 га. Границами участка служат улицы Танкистов, Навашина и улица Зенитная.

Площадь зеленой зоны составляет около 45 % от площади квартала.

Состав древесных и кустарниковых насаждений разнообразен: береза повислая, клен американский, вяз обыкновенный, сирень обыкновенная, тополь пирамидальный, рябина обыкновенная, осина обыкновенная, тополь белый. Большая часть деревьев – старые; необходима посадка молодых деревьев.

Можно предложить два варианта благоустройства квартала: дорогостоящий и экономичный. В рамках первого проекта на данной территории запланирована посадка деревьев, кустарников, обустройство газонов и цветочных клумб. Также будут установлены дополнительно детские площадки и скамьи.

На пересечении улиц Танкистов и Навашина проект предлагает устроить цветник, имеющий форму прямоугольника с округленными краями, что делает планировку интереснее. Площадь цветника составляет 5 квадратных метров. Цветник будет засажен бархоткой отклоненной – она неприхотливая, хорошо приспособлена к различным климатическим зонам. Это компактное растение с темно-зеленой листвой, махровыми, крупными цветами; второе растение – петунья гибридная. Она хорошо переносит экстремальные погодные условия и цветет с мая по сентябрь. Кроме того, планируется посадить ромашку белую – яркое низкорослое растение, образующее изящные кустики; тюльпаны раннецветущие простые – яркие луковичные растения, цветущие в мае, а также почвопокровные растения: седум ложный, фулдаглут и манжетку обыкновенную.

Вокруг цветника будут установлены 2 скамейки для отдыха жителей. По границе жилой зоны размещаются небольшие клумбы, всего 5 клумб, размером $1,5 \times 1,5$ м, в них посажены вербены гибридные и колеусы крупнолистные – растения, не требовательные к условиям, легкие в уходе.

В южной части территории, около дома № 63 предусмотрен дополнительный комплекс для отдыха детей, состоящий из двух площадок размерами 15×15 м, которые соединены между собой дорожками шириной в 2 метра. На территории детской площадки должны быть карусели, качели, горки, песочница. Он отделен от остальной территории двора железными ограждениями и полосой зеленых насаждений из липы мелколистной и катальпы (13 деревьев), кроме произрастающих уже на данной территории. Существующей спортивной площадке необходимо придать приятный внешний вид, а именно покрасить оборудование и заменить сломанные детали.

Между домами – в зонах отдыха – планируется разместить газон. Возле каждого подъезда должна стоять лавочка, а также около каждой детской и спортивной площадки – по одной лавочке.

В северной части территории, рядом со спортивной площадкой, планируется высадить смешанный древесный массив, в состав которого будут входить: хвойные (ель), лиственные (катальпа, липа мелколиственная) породы деревьев и свободно растущие кустарники (барбарис обыкновенный и форзиция европейская). У подъездов планируются кустарники: спирея японская и шиповник морщинистый.

Были определены экономические расходы на организацию данного варианта проекта (таблица).

Все работы по благоустройству города и озеленению его территорий выполняются только в соответствии с законодательством РФ, каждое действие, направленное на изменение городской территории должно быть согласовано с законодательством, а значит, с руководством ТСЖ (товарищество собственников жилья), действующим в пределах территории, с УК (управляющей компанией) [2].

Расходы на организацию проекта благоустройства жилого массива

Наименование	Цена за 1 штуку	Всего (количество)	Стоимость (руб.)
Организация цветника: Петуния гибридная, бархотка отклоненная, ромашка белая, тюльпан раннецветущий простой	25 рублей	100 кустов	2500
Седум ложный фулдагнут и манжетка обыкновенная	60 рублей	40 кустов	2400
Пластиковое ограждение	3000	1	3000
Организация цветочных клумб: Бетонные клумбы	5000 рублей	5 клумб	25000
Вербены гибридные, колеусы крупнолистные	25	100	2500
Скамьи	3000	27	81000
Комплексные детские площадки	60000	2	120000
Высадка кустарников (барбарис обыкновенный, форзиция европейская, спирея японская, шиповник морщинистый)	700	35	24500
Высадка деревьев (липа мелколистная, катальпа, ель)	3000	30	90000
Благоустройство спортивной площадки:			
краска	400	3	1200
кольцо баскетбольное со щитом	2000	1	2000
волейбольная сетка	3000	1	3000
Плата за работу	60000	1	60000
Общая стоимость			417100

Это очень большая сумма денег, которую необходимо будет затратить на данный проект. В связи с этим можно предложить вариант менее дорогостоящий (экономичный) и оборудовать придомовую территорию только элементами благоустройства, которые имеют наиболее важное значение. На территории, которая располагается между домами, можно разбить газон, а также возле каждого дома установить хотя бы по 2 скамейки. Эти работы можно произвести за счет жителей, без привлечения посторонней рабочей силы.

Городское благоустройство – это жилищное и уличное благоустройство: планировка, жилищный фонд, муниципальные земли, зеленые насаждения, уход за дорогами, улицами и тротуарами, городское освещение. Прежде всего, это работы, которые направлены на то, чтобы жильцам было удобно и комфортно в своем городе, в своем доме. На городском уровне благоустройством города занимается комитет жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ), которую он выполняет по поручению исполнительно-распорядительного органа муниципального образования города Саратова [3].

Мы рекомендуем улучшить состояние придомовой территории данного жилого массива Кировского района города Саратова, используя разработанные проекты по благоустройству и озеленению.

Список литературы

1. Бакутис В.Э., Бутягин В.А., Лунц Л.Б. Инженерное благоустройство городских территорий [Электронный ресурс] URL: [http://www. books.tr200.ru](http://www.books.tr200.ru) (дата обращения 28.10.2020).
2. Благоустройство и озеленение населенных мест [Электронный ресурс] URL: <http://www.bestreferat.ru/referat-180900/> (дата обращения: 15.09.2020).
3. Градостроительный кодекс Российской Федерации (с изменениями на 31 июля 2020 года). Статья 1. Основные понятия, используемые в настоящем Кодексе. [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/901919338> (дата обращения 12.11.2020).

УДК 504.064:504.455

К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПДК

**Шашуловская Елена Александровна,
Мосияш Светлана Александровна**

Саратовский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Россия
e-mail: shash.elena2010@yandex.ru

Аннотация. На основе статистической обработки многолетнего гидрохимического материала Волгоградского водохранилища (2010-2019 гг.) были выбраны показатели, для которых необходимо провести корректировку соответствующих ПДК, и апробированы методические подходы к разработке их региональных нормативов.

Ключевые слова: региональные ПДК, Волгоградское водохранилище, биогенные элементы, органическое вещество

TO THE QUESTION OF JUSTIFICATION OF METHODOLOGICAL APPROACHES FOR DEVELOPING REGIONAL MPC

Shashulovskaya Elena Alexandrovna, Mosiyash Svetlana Alexandrovna
Saratov branch of Russian Federal «Research Institute of Fisheries and Oceanography», Russia, e-mail: shash.elena2010@yandex.ru

Abstract. Based on the statistical processing of the long-term hydrochemical material of the Volgograd reservoir (2010-2019), indicators were selected for which it is necessary to adjust the corresponding MPCs, and methodological approaches to the development of their regional standards were tested.

Keywords: regional MPC, Volgograd reservoir, biogenic elements, organic matter

Прогрессирующее загрязнение водоемов выдвинуло проблему регламентации не только соединений с остротоксическими свойствами, но и веществ, имеющих аналоги в природе. Содержание последних может существенно варьировать в зависимости от региональных особенностей формирования природных вод в различных природно-климатических зонах и биогеохимических провинциях.

По мере понимания того, что нормирование веществ двойного генезиса на основе общероссийских ПДК_{рбхз} неоднозначно характеризует благополучие водных экосистем, назрела острая необходимость в установлении нормативов качества с учетом природного регионального гидрохимического фона.

Материалом для настоящих исследований послужили результаты гидрохимического мониторинга Волгоградского водохранилища в период 2010-2019 гг., включающий различные по водности и термическому режиму годы.

Пробы воды отбирали на русловых (поверхность и придонный 0,5 м горизонт) и прибрежных (поверхность) участках по стандартным мониторинговым разрезам: г. Вольск, с. Усовка, с. Усть-Курдюм, ниже г. Саратова, сс. Золотое – Ровное, Нижняя Добринка, Камышин, Г. Балыклей в сезонном аспекте (весна, лето, осень). Всего было отобрано и обработано около 880 проб.

Гидрохимический анализ включал показатели солевого состава, органического вещества, биогенных элементов и проводился по общепринятым методикам, допущенным для целей Государственного экологического контроля, что позволяет сравнить результаты, полученные для других регионов. Статистическую обработку данных проводили с использованием стандартных процедур программной среды Microsoft Excel и специализированного пакета программы Statgraphics. Для расчета региональных ПДК использовали принципы и методы, изложенные в работах [1, 2, 4].

Вода Волгоградского водохранилища средней минерализации, гидрокарбонатного класса группы кальция. В сезонной динамике максимальные концентрации основных ионов отмечены в весенний паводковый период и обусловлены присутствием в водохранилище трансформированных зимних вод. Сезонные изменения величин общего (по ХПК) и аллохтонного (ПО) органического вещества (ОВ) имели два максимума: весной и в конце лета.

Минимальные значения лабильного ОВ (по БПК₅) регистрировали при низком уровне биопродукционных процессов в ранневесенний и позднеосенний периоды, максимальные – в летние месяцы как результат образования автохтонной органики (табл. 1).

Таблица 1

Сезонная изменчивость содержания органического вещества
в воде Волгоградского водохранилища в период 2010-2019 гг.

Сезон	Статистические показатели	ПО, мгО/дм ³	ХПК, мгО/дм ³	БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³
весна	min-max	5,0-10,6	14-42	0,32-4,8
	$\bar{x} \pm m$	7,2 ± 0,1	28 ± 0	1,80 ± 0,08
лето	min-max	3,7-10,9	12-54	0,30-8,34
	$\bar{x} \pm m$	7,5 ± 0,1	26 ± 0	2,81 ± 0,1
осень	min-max	5,0-13,0	11-54	0,16-5,67
	$\bar{x} \pm m$	6,9 ± 0,1	25 ± 0	1,74 ± 0,08
Средние за вегетационный сезон	min-max	3,7-13,0	11-54	0,16-8,34
	$\bar{x} \pm m$	7,2 ± 0,0	26 ± 0	2,27 ± 0,06
ПДК _{рбхз}		–	–	2,0

Доминирующей формой минерального азота в Волгоградском водохранилище является азот нитратный, содержание которого, как правило, имеет четкую сезонную динамику [3]. Максимальные значения зафиксированы в весенний период за счет присутствия трансформированных зимних вод, а также влияния терригенного стока с паводком (табл. 2). Летом наблюдалось существенное снижение концентрации нитратного N вследствие его потребления гидробионтами.

Таблица 2

Сезонная изменчивость содержания биогенных элементов (мг/дм³)
в воде Волгоградского водохранилища в период 2010-2019 гг.

Сезон	Статистические показатели	Азот аммония	Азот нитратов	Фосфор минеральный	Железо общ.
весна	min-max	0,08-0,45	0,02-1,91	<0,02-0,075	<0,05-0,68
	$\bar{x} \pm m$	0,22 ± 0,01	0,87 ± 0,03	0,047 ± 0,001	0,27 ± 0,01
лето	min-max	<0,04-0,57	<0,02-1,43	<0,02-0,12	<0,05-0,49
	$\bar{x} \pm m$	0,19 ± 0,01	0,24 ± 0,01	0,044 ± 0,001	0,21 ± 0,00
осень	min-max	<0,04-0,46	<0,02-1,09	<0,02-0,11	0,05-0,34
	$\bar{x} \pm m$	0,17 ± 0,01	0,28 ± 0,01	0,061 ± 0,001	0,18 ± 0,00
Средние за вегетационный сезон	min-max	<0,04-0,57	<0,02-1,91	<0,02-0,12	<0,05-0,68
	$\bar{x} \pm m$	0,19 ± 0,00	0,39 ± 0,01	0,052 ± 0,001	0,21 ± 0,00
ПДК _{рбхз}		0,4	9,1	0,15	0,1

Для Волгоградского водохранилища характерно низкое содержание нитритов: в основном от < 0,006 до 0,008 мгN/дм³, свидетельствующее о свободном протекании процесса нитрификации. Тем не менее в отдельные периоды (2010-2013 гг.) зарегистрировано повышение концентраций этого соединения, вероятно, за счет увеличения токсического загрязнения [3].

Количество минерального фосфора в водохранилище колебалось в пределах: $< 0,02-0,12 \text{ мг/дм}^3$. В сезонной динамике часто наблюдали близкое содержание элемента в весенне-летний период и накопление к осени. Концентрация железа колебалась в пределах $< 0,05-0,68 \text{ мг/дм}^3$. Весной среднее содержание Fe по водохранилищу превышало его количество в летне-осеннюю межень. Превышение рыбохозяйственной ПДК зафиксировано в 1,8-2,7 раза.

Проведенный нами статистический анализ многолетних данных гидрохимического режима Волгоградского водохранилища выявил несоответствие средних концентраций (которые можно считать фоновыми) некоторых показателей их рыбохозяйственным нормативам. Это в первую очередь относится к хлоридам и нитратам, средние концентрации которых по водохранилищу на порядок ниже соответствующих ПДК_{рбхз}. Содержание минерального фосфора и аммонийного азота незначительно ниже, а железа – выше соответствующих нормативов.

Наибольшую опасность для экосистемы водохранилища представляют биогенные элементы, в первую очередь азот и фосфор, избыточное количество которых приводит к эвтрофированию водоема. Принципиальные теоретические различия между понятиями «эвтрофирование» и «загрязнение» в отношении биогенных элементов на практике выступают как единый мощный фактор, затрагивающий технические, экономические и социальные аспекты. Совершенно очевидно, что в условиях современной трансформации климата проблема будет усугубляться. Решение вопроса регламентации этих соединений может рассматриваться как важнейший аспект защиты водоемов от загрязнения и сохранения структуры и функциональных особенностей гидроэкосистемы. Разработка и внедрение региональных нормативов возможны и для показателей общего (по ХПК) и аллохтонного (ПО) органического вещества, ПДК_{рбхз} на которые отсутствуют.

Величины хлоридов, нитратов, железа и ХПК имеют сезонную динамику с максимальными концентрациями в весенний паводковый период. Весеннее половодье является основной фазой водного режима Волгоградского водохранилища, в период которого проходит до 30-40 % годового стока, формирующегося в выше расположенных участках. Химизм воды в этот период важен для развития гидробиологической составляющей водоема. Очевидно поэтому для расчета региональных нормативов по показателям, величины которых имеют весенний максимум, необходимо использовать концентрации весеннего паводкового периода. Для показателей аллохтонного органического вещества и минерального фосфора не отмечена четко выраженная сезонная динамика, поэтому можно оперировать всей выборкой данных за вегетационный сезон.

При статистической обработке исходного массива гидрохимической информации, полученной по единым методам отбора и анализа проб, была

осуществлена проверка соответствия исходных данных различным условиям (отсутствие промахов по критерию Ирвина, проверка на нормальность распределения с помощью теста Колмогорова-Смирнова, отсутствие достоверного тренда в многолетнем ряду показателей). Проведенные нами расчеты показали, что распределение большинства исследованных гидрохимических показателей достоверно отличается от нормального. Однако при большой выборке ($n > 100$) можно использовать параметрические методы, являющиеся более чувствительными (имеющие большую статистическую мощность). Для сравнения при расчете региональных ПДК мы использовали как параметрические, так и непараметрические показатели (табл. 3).

Рассчитанные статистические показатели (верхняя граница доверительного интервала среднего значения, верхняя граница модального интервала, квантиль порядка 0,75 и 0,75 квантиль, ужесточенный на величину доверительного интервала) для каждого их компонентов гидрохимического состава воды Волгоградского водохранилища показали их близкие значения, сопоставимые со стандартной погрешностью определения. Поскольку параметрические методы более эффективные и мощные, мы предлагаем использовать для расчета региональных нормативов верхнюю границу доверительного интервала (распределения Стьюдента с вероятностью 0,95) возможных средних значений концентрации ингредиентов. Таким образом, для Волгоградского водохранилища в качестве региональных можно рассматривать следующие концентрации: по хлоридам – 35 мг/дм³, по показателю ПО – 7 мг/дм³, по показателю ХПК – 29 мг/дм³, по нитратам – 0,9 мгN/дм³, по фосфору минеральному – 0,05 мг/дм³, по железу общему – 0,3 мг/дм³.

Таблица 3

Итоговая таблица результатов расчета некоторых статистических показателей гидрохимических компонентов Волгоградского водохранилища (по данным за 2010-2019 гг.)

Показатели	Хлориды, мг/дм ³	ПО, мг/дм ³	ХПК, мг/дм ³	Азот нитратов, мг/дм ³	Фосфор мин., мг/дм ³	Железо общ., мг/дм ³
n	129	862	148	179	876	181
\bar{x}	34,3	7,2	27,9	0,87	0,052	0,27
Медиана	32,3	7,2	28,0	0,89	0,051	0,25
$\bar{x} + 1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ ¹	35,2	7,3	28,8	0,91	0,053	0,29
Верхняя граница модального интервала \bar{x} ²	31,9	8,6	32,5	0,95	0,044	0,28
0,75 квантиль \bar{x} ³	36,8	8,2	30,5	1,09	0,067	0,35
$C_{0,75} - \frac{2,15\sigma}{\sqrt{n}}$ ⁴	35,8	8,1	29,5	1,04	0,065	0,33

Примечание: расчет ¹-по [2], ²- по [4], ^{3,4} – по [1]

Полученные результаты следует рассматривать в продолжение исследований по уточнению методических подходов к разработке региональных ПДК на различных водных объектах нижеволжского региона с различными климатическими и гидрологическими характеристиками и регламентации перечня контролируемых показателей.

Список литературы

1. Возняк А.А., Лепихин А.П. Разработка региональных ПДК: необходимость, методика, пример // Географический вестник. 2018. 2(45). С. 103-114.
2. Опыт экологического нормирования антропогенного воздействия на качество воды (на примере водохранилища Средней и Нижней Волги). Г.С. Розенберг [и др.] // Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценки состояния водоемов. М.: Товарищество науч. изд. КМК, 2011. С. 5-29.
3. Особенности многолетней динамики гидрохимических показателей водохранилищ Нижней Волги и реки Урал (на примере Саратовского, Волгоградского и Ириклинского водохранилищ). Е.А. Шашуловская, С.А. Мосияш, И.Г. Филимонова [и др.] // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2019. № 3. С. 72-93.
4. Р 52.24.862-2017. Рекомендации. Выбор допустимых пределов колебаний информативных гидрохимических показателей состояния речных экологических систем, находящихся в различных природно-климатических условиях. Ростов-на-Дону, Росгидромет, 2014. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293736/4293736601.htm>(дата обращения 25.05.2020).

УДК 691.32; 625.7

ЭФФЕКТИВНЫЕ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ БЕТОНЫ ДЛЯ АКУСТИЧЕСКИХ ЭКРАНОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Шестаков Николай Игоревич, Алексеева Дарья Сергеевна,

Полосина Диана Владимировна

Национальный исследовательский

Московский государственный строительный университет, Россия

e-mail: SHestakovNI@mgsu.ru, pacificfox36@gmail.com,

polosinadiana55@gmail.com

Аннотация. В статье рассматривается возможность улучшения качества окружающей среды, за счет сокращения количества оксидов азота на участках автомобильных дорог. Снижение экологической нагрузки происходит посредством фотокатализа на поверхности акустических экранов, изготовленных из фотокаталитических бетонов. Повышение эффективности рассматривается на примере Московской кольцевой автомобильной дороги (МКАД), на которой полезная площадь акустических экранов, в настоящий момент, свыше 77 тыс. м². Предложены альтернативные составы минеральных композитов для производства эффективных акустических экранов с добавлением целлюлозной фибры и диоксида титана. Методом математического планирования определены оптимальные концентрации добавок для получения эффективных фотокаталитических акустических экранов

Ключевые слова: фотокаталитические бетоны, автомобильные дороги, акустические экраны, прочность, планирование эксперимента

EFFECTIVE PHOTOCATALYTIC CONCRETES FOR ACOUSTIC SCREENS OF HIGHWAYS

Shestakov Nikolay, Alekseeva Daria, Polosina Diana

Moscow State University of Civil Engineering (MGSU), Russia

e-mail: SHestakovNI@mgsu.ru, pacificfox36@gmail.com,

polosinadiana55@gmail.com

Abstract: *The article discusses the possibility of improving the quality of the environment by reducing the amount of nitrogen oxides on the road sections. Reducing the environmental load occurs through photocatalysis on the surface of acoustic screens made of photocatalytic concrete. Improving efficiency is considered on the example of the Moscow Ring Road (MKAD), on which the usable area of acoustic screens, at the moment, is over 77 thousand m². Alternative compositions of mineral composites for the production of effective acoustic screens with the addition of cellulose fiber and titanium dioxide are proposed. The optimal concentration of additives for obtaining effective photocatalytic acoustic screens was determined by the method of mathematical planning.*

Keywords: *Photocatalytic concretes, highways, acoustic screens, strength, experiment planning*

Развитие городского транспорта в крупных мегаполисах способствует увеличению нагрузки на экологическую обстановку и пропорционально возрастает с ростом размера города. Негативное воздействие вызывается повышением уровня шума и вибрации, а также увеличением концентрации вредных веществ в атмосфере, которые образуются при сжигании топлива в двигателях автомобилей.

К наиболее распространенным загрязняющим веществам относятся соединения оксида азота, серы, углерода, а также формальдегид, толуол и бензол. Одни компоненты присутствуют в малых дозах и уровень ПДК соответствует нормативным значениям, количество других превышает нормы в 1,5-2,5 раза.

По данным центра мониторинга состояния атмосферы Департамента природопользования и охраны окружающей среды города Москвы, среди всех загрязняющих веществ индекс загрязнения атмосферы NO и NO₂ на участках МКАД в среднем за год находится на уровне 2,2 и 1,9 соответственно [1, 2]. Такие показатели характеризуют автомобильную дорогу, находящуюся на территории города, как участок с «повышенной» степенью загрязнения атмосферы, что, в свою очередь, требует эффективных решений.

Одним из способов решения можно предложить замену установленных на МКАД акустических экранов, полезная площадь которых составляет 77 тыс. м², на подобные конструкции, выполненные из фотокаталитических бетонов.

При взаимодействии оксидов азота с поверхностью таких бетонов происходит процесс минерализации оксидов до нитратов, которые в дальнейшем смываются дождевой водой или в процессе чистки.

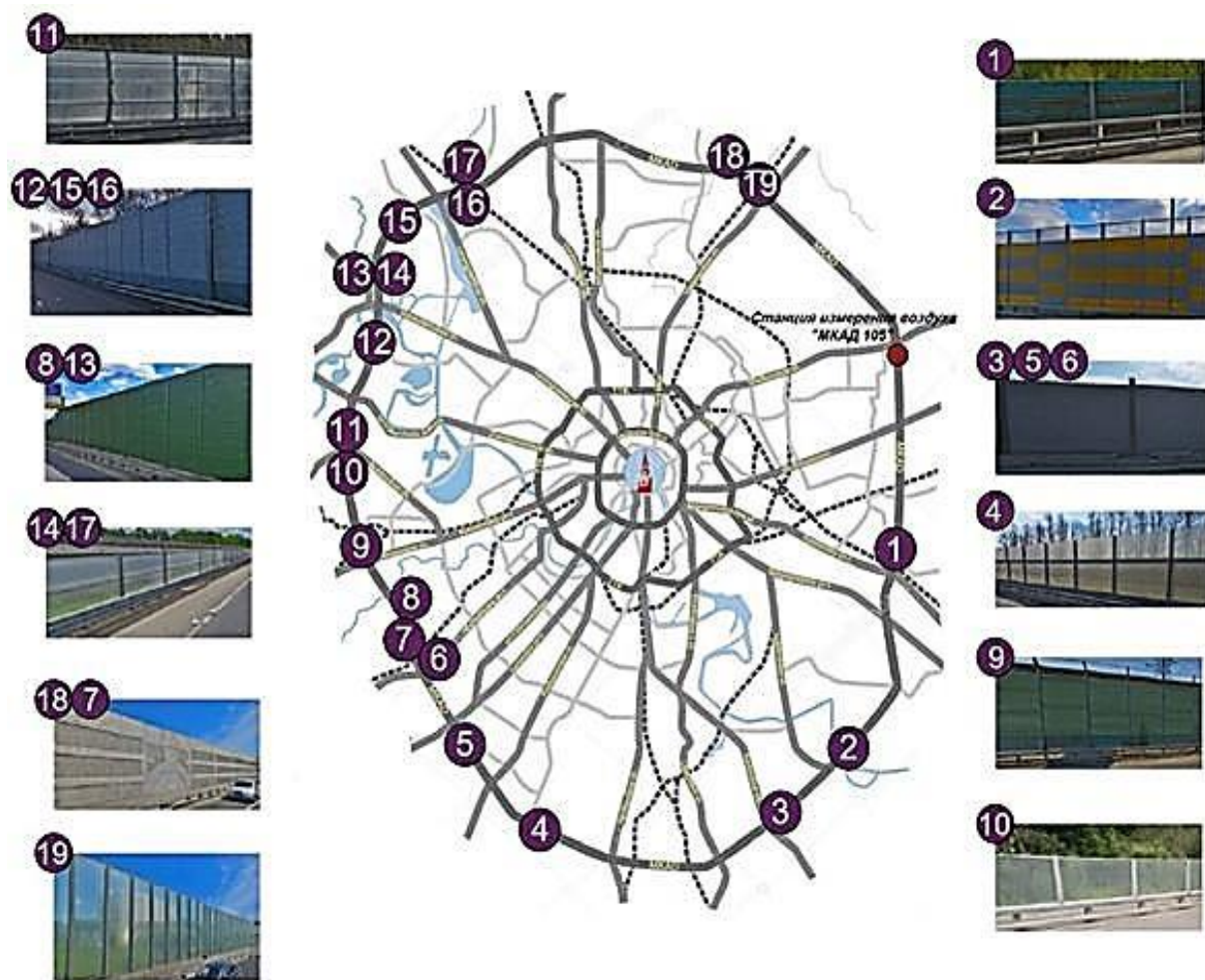


Рис. 1. Территориальное расположение акустических экранов различного типа на МКАД

Для придания бетонам фотокаталитических свойств применяли наиболее распространенный и общедоступный катализатор – диоксид титана в анатазной модификации. Для повышения пористости и увеличения акустической эффективности применяли целлюлозную фибру, полученную методом механической гомогенизации вторичной целлюлозы в водной среде.

Для определения оптимального содержания в составе минерального композита количества волокон целлюлозы и диоксида титана был проведен полный двухфакторный композиционный эксперимент. Диапазоны концентрации диоксида титана были установлены из известных работ [3-5], где оптимальным соотношением массы диоксида титана от массы портландцемента является 1 %. Целлюлозная суспензия значительно изменяет реологические свойства цементного теста, увеличивая его вязкость, поэтому превышение концентрации суспензии выше 1 % не является рациональным. Сводные данные концентрации добавок и диапазон варьирования представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основные характеристики плана эксперимента

Факторы эксперимента	Обозначение фактора	Нижний уровень	Нулевой уровень	Верхний уровень	Шаг варьирования
Количество TiO_2 , мас. %	X_1	0,5	1,0	1,5	0,5
Количество целлюлозы, мас. %	X_2	0,5	0,75	1,0	0,25

Математическое моделирование способствует уменьшению количества лабораторных экспериментов, направленных на изучение влияния содержания добавок на физико-механические свойства получаемых композитов, а также более рациональному анализу.

Полученные результаты позволяют составить математическую модель и поверхность функции отклика по прочности для образцов в сухом и водонасыщенном состоянии и определить границы оптимального содержания добавок в составе цементного камня, для получения эффективных фотокаталитических акустических экранов автомобильных дорог.

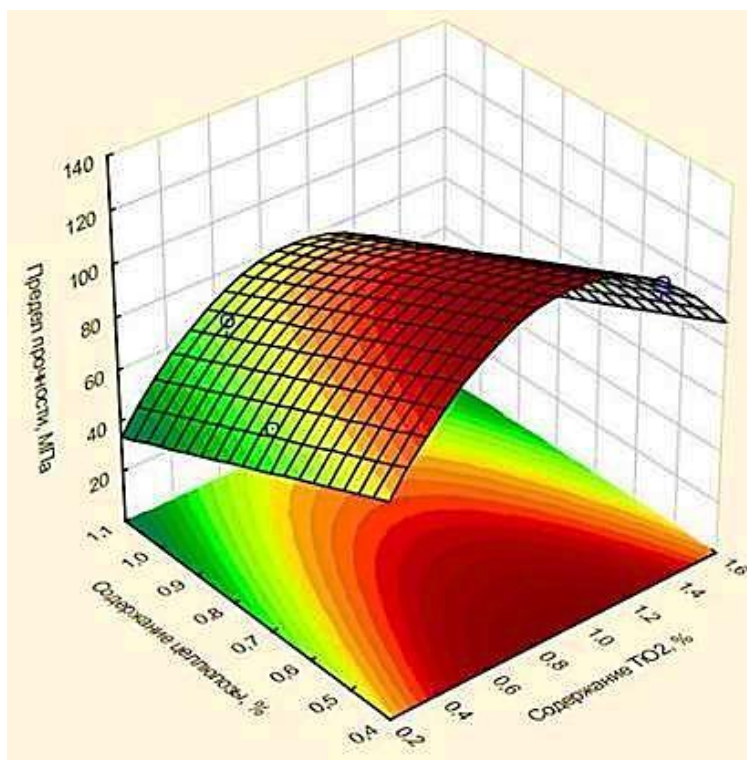
Данные по испытаниям образцов, указанные в табл. 1 и 2, послужили основой для разработки уравнений регрессии полученного композита. Анализ полученных результатов выполнялся с использованием программного комплекса GRADIENT. Выбранные факторы были закодированы следующим образом: X_1 – содержание TiO_2 от массы цемента; X_2 – содержание целлюлозы от массы цемента.

Таблица 2

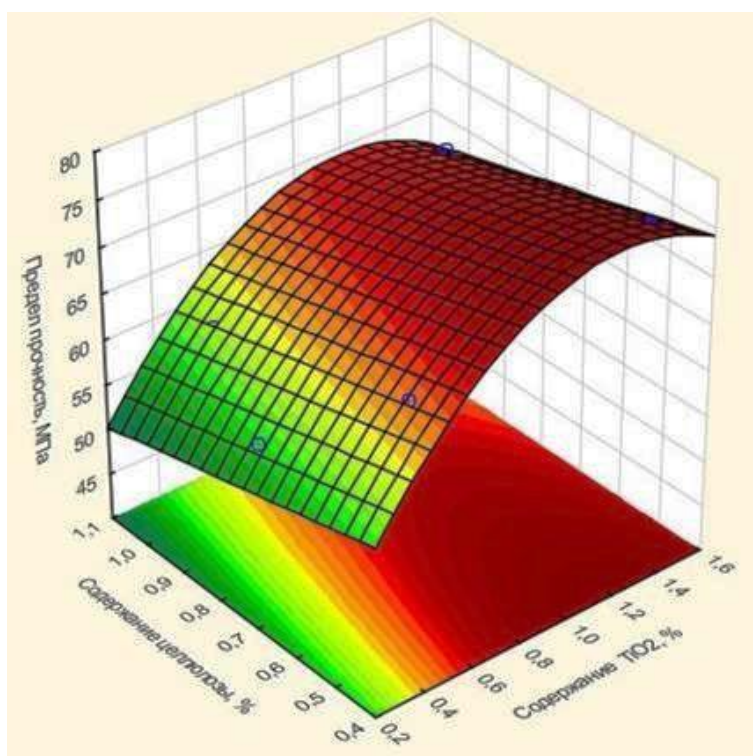
Матрица планирования эксперимента в натуральных величинах

№	Планирование		Предел прочности при сжатии, МПа	
	Количество TiO_2 , масс. %	Количество целлюлозы, масс. %	В сухом состоянии	В насыщенном водой состоянии
1	0,5	0,5	99,6	67,1
2	1,5	0,5	98,8	74,0
3	0,5	1	76,6	60,6
4	1,5	1	52,1	69,1
5	0,29289	0,75	68,9	57,6
6	1,7071	0,75	84,3	55,0
7	1	0,39645	86,6	70,0
8	1	1,1036	55,9	57,6
9	1	0,75	72,8	78,0

После получения математических уравнений в программном комплексе STATISTICA были построены трехмерные поверхности функции отклика физико-механических показателей изменяющихся факторов X_1 и X_2 , которые представлены на рис. 2. Определение предела прочности проводилось на стандартном гидравлическом прессе в возрасте 28 суток в сухом и насыщенном водой состоянии.



а



б

Рис. 2. Трехмерные поверхности функции отклика показателя:
 а – предел прочности в сухом состоянии,
 б – предел прочности в насыщенном водой состоянии

Предел прочности снижается при увеличении концентрации целлюлозных волокон практически по линейному закону, что объективно коррелирует с общеизвестными данными о подобных композитах. Диоксид титана кристаллической фазы обладает слабой реакционной способностью и в составе композита приводит к увеличению прочности в зоне оптимума за счет уплотнения структуры и замещения объема пор.

Анализ трехмерной поверхности функции отклика показателя предела прочности на сжатие позволяет сделать вывод, что оптимальную величину можно получить при содержании TiO_2 от 0,8 до 1,1 %, а целлюлозы – от 0,4 до 0,8 %.

Список литературы

1. Шестаков Н.И., Полосина Д.В., Алексеева Д.А. Перспективы применения акустических экранов из фотокаталитических бетонов на примере МКАД // Молодые ученые России: сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции. Пенза, 2020. С. 39-43.

2. Станция измерения воздуха «МКАД 105» // Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы: сайт. Москва. URL: http://www.dpioos.ru/eco/ru/station_map/o_454269 (дата обращения 09.11.2020).

3. Кожемякина Н.П., Тихонов В.А., Лановецкий С.В. Влияние легирующих компонентов на фотокаталитическую активность диоксида титана анатазной модификации // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. Пермь. 2016. № 1. С. 79-87.

4. Эффективность применения нанодисперсного диоксида титана в фотокатализе / Лукутцова Н.П. [и др.] // Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова. Брянск 2015. № 3. С. 54-57.

5. Ляпидевская О.Б., Фрайнт М.А. Фотокаталитический бетон для дорожного строительства // Вестник МГСУ. М., 2014. № 2. С. 125-130.

Научное издание

РЕСУРСОЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ

Сборник научных трудов
по материалам VIII Международной
научно-практической конференции

*Под редакцией доктора технических наук, профессора
Ю.Г. Иващенко*

Редактор Л.А. Скворцова

Компьютерная верстка Т.В. Семёновой

Подписано в печать 22.12.2020

Формат 60×84 1/16

Бум. офсет.

Усл. печ. л. 19,75

Уч. -изд. л. 18,3

Тираж 100 экз.

Заказ 99

С 62

Саратовский государственный технический университет

410054, Саратов, Политехническая ул., 77

Отпечатано в Издательстве СГТУ. 410054, Саратов, Политехническая ул., 77

Тел.: 99-87-39, e-mail: izdat@sstu.ru

