

Материалы

**VIII Международной научно-технической конференции
«Инновационные машиностроительные технологии,
оборудование и материалы – 2017»
(МНТК «ИМТОМ – 2017»)**

Часть 2

6-8 декабря 2017 года

г. Казань

Министерство промышленности и торговли Республики Татарстан
Акционерное общество «Казанский научно-исследовательский
институт авиационных технологий»
ГАУ «Центр энергосберегающих технологий Республики Татарстан
при Кабинете Министров Республики Татарстан»
Казанский (Приволжский) Федеральный университет
Казанский национальный исследовательский технический университет
имени А.Н. Туполева - КАИ (КНИТУ - КАИ)
Казанский национальный исследовательский технологический университет
Академия наук Республики Татарстан
ООО «ЦПР «Техносвар»

Материалы

VIII Международной научно-технической конференции
**«ИННОВАЦИОННЫЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ
И МАТЕРИАЛЫ – 2017»**
(МНТК «ИМТОМ – 2017»)

Часть 2

6-8 декабря 2017 года

Казань
2017

УДК 67
ББК К34
М34

Ответственность за содержание тезисов возлагается на авторов.

М34 Материалы VIII Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2017» (МНТК «ИМТОМ–2017»). Ч. 2. – Казань, 2017. – 396 с., ил.

Материалы состоят из 6 разделов в соответствии с секциями Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы–2017» (МНТК «ИМТОМ–2017»): «Высокоэффективные материалы, технологии и оборудование в машиностроении», «Инновационные разработки и экономика в машиностроении», «Химическое машиностроение», «Математическое и физическое моделирование информационных, технических, технологических и управленческих систем и процессов», «Инновационные сварочные технологии в промышленности», «Инновационные разработки малых и средних предприятий».

Будет полезно научным работникам, технологам и инженерам соответствующих специальностей.

ISBN 978-5-9500631-7-6 (m. 2)

ISBN 978-5-9500631-5-2

© АО «КНИАТ», 2017

© ООО «Фолиант», оформление, 2017

Все права защищены. Материалы Сборника трудов не могут быть воспроизведены в любой форме или любыми средствами, электронными или механическими, включая фотографирование, магнитную запись или иные средства копирования или сохранения информации без письменного разрешения АО «Казанский научно-исследовательский институт авиационных технологий».

СЕКЦИЯ № 3

«Химическое машиностроение»

Модераторы:

Поникаров Сергей Иванович - зав. кафедрой «Машин и аппаратов химических производств» ФГБОУ ВО «КНИТУ», профессор, д.т.н.

Теляков Эдуард Шархиевич - профессор кафедры «Машин и аппаратов химических производств» ФГБОУ ВО «КНИТУ», д.т.н.

СИНТЕЗ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ОСНОВЕ ЭТИЛЕНДИАМИНТЕТРАУКСУСНОЙ КИСЛОТЫ

Архиреева Ольга Вячеславовна
инженер-технолог ПАО ААК «Прогресс», магистрант СПбГУПТД
г. Арсеньев, Россия, e-mail: arkhireeva.olga@mail.ru
Научные руководители: Денисенко Юрий Петрович – управляющий директор
ПАО ААК «ПРОГРЕСС»,
Бердиев Олег Шамильевич – советник управляющего директора
ПАО ААК «ПРОГРЕСС»,
г. Арсеньев, Россия, e-mail: berdiev553@mail.ru
Витковская Раиса Федоровна – профессор, доктор технических наук
СПбГУПТД

Работа посвящена синтезу поверхностно-активных веществ (ПАВ) на основе этилендиаминтетрауксусной кислоты (далее - ЭДТУК), и исследованию механизма её воздействия на дизельное и остаточное топливо, как диспергирующего ПАВ.

The work is devoted to the synthesis of surfactants based on ethylenediaminetetraacetic acid (EDTUK), and the investigation of its mechanism of action on diesel and residual fuel as a dispersant surfactant.

Ключевые слова: синтез, поверхностно-активные вещества, этилендиаминтетрауксусная кислота, депрессорно-диспергирующие присадки, дизельное топливо.

Введение

Производные ЭДТУК могут выступать в качестве диспергаторов парафинов нефтяных топлив [4,5]. Однако в литературе практически отсутствуют данные о возможных путях синтеза диспергаторов такой природы.

Цель и решаемые задачи

Целью работы является разработка и исследование методики синтеза тетрамида ЭДТУК, на основе которой создается композиция депрессорно-диспергирующей присадки для дизельного и остаточного топлива.

Для осуществления поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучение механизма действия диспергирующих присадок;
2. Разработка методики синтеза тетрамида ЭДТУК;
3. Сформулировать рекомендации для применения полученного вещества в качестве диспергирующей добавки к дизельным и остаточным нефтяным топливам.

Получение сложного эфира этилендиаминтетрауксусной кислоты

Проведение данного синтеза является проверкой ЭДТУК на способность полного замещения четырех карбоксильных групп. Этот синтез позволит

понять, способна ли кислота при взаимодействии с первичными аминами полностью перейти в тетраמיד.

Для смещения равновесия в сторону образования сложных эфиров обычно применяют избыток одного из компонентов или выводят из зоны реакции один из продуктов (как правило, воду) в виде азеотропа с ароматическим углеводородом (бензолом, толуолом, ксилолом), добавляемым к исходной реакционной смеси.

Затем рассчитывают количество воды, которое должно выделиться при полном завершении реакции. С помощью этого определяется полнота замещения гидроксильных групп в молекуле ЭДТУК на сложноэфирные. В качестве катализатора применяют *p*-толуолсульфокислоту (ПТСК).

Сложный эфир ЭДТУК образуется в результате реакции этилендиаминтетрауксусной кислоты со спиртом[1].

Эксперимент по синтезированию можно провести в трехгорлой колбе (ёмкостью 250 мл), снабженной мешалкой, ловушкой Дина-Старка, холодильником и помещенную в колбонагреватель.

По методу, описанному выше был получен сложный эфир ЭДТУК с выходом 72%. Количество выделенной воды совпадает с расчетными данными, следовательно, реакция прошла полностью (все карбоксильные группы были замещены).

Синтез производных амидов взаимодействием этилендиаминтетрауксусной кислоты с первичными алифатическими аминами

Реакционную смесь нагревают со скоростью 10°C в минуту до 185-195°C и выдерживают в течение 7 ч при этой температуре.

Вода, образовавшаяся в ходе реакции, удаляется путем создания вакуума при помощи водоструйного насоса (2 часа, 120°C).

Полученный продукт разбавляют ароматическим растворителем (сольвент-нафта) так, чтобы содержание твердого продукта составляло 50% по массе и далее пропускают через фильтр, чтобы извлечь все непрореагировавшие примеси, нерастворимые в сольвенте.

Синтез был проведен с двумя растворителями:

1) В качестве растворителя использовали диметилсульфоксид.

Выход продукта по массе (от теоретического) составил 52%. Синтез продолжался 5 часов. Реакционную массу нагревали до 150 °C, так как при этой температуре диметилсульфоксид начинает разлагаться.

Не прогрев до нужной температуры реакционную массу (185 – 195°C), можно сделать вывод, что синтез прошел не полностью.

Значительно невысокие выходы продукта обуславливаются недостаточной (низкой) температурой проведения реакции.

Полученный в ходе синтеза смеси производных тетрамида ЭДТУК оказался нерастворим в дизельном топливе[2,3].

Подтверждение структуры полученного соединения проводили с помощью ПМР-спектроскопии.

2) В качестве растворителя использовали формамид.

Выход продукта по массе (от теоретического) составил 63%. Синтез продолжался 7 часов. Синтезированная смесь производных алифатических амидов ЭДТУК представляет собой коричневое воскообразное вещество. Полученный в ходе синтеза тетраамид ЭДТУК оказался растворим в дизельном топливе.

Синтезированный тетраамид ЭДТУК был исследован с помощью ПМР-спектроскопии.

При повышении температуры реакционной смеси до 200⁰С и более, наблюдается образование побочных продуктов: моно- и диангирида ЭДТУК, а также продуктов уплотнения неуставленного характера.

Если проводить реакцию при температуре больше 200⁰С образуются кольца, они могут иметь разную форму. Гипотетически можно предположить какую структуру будут иметь соединения ЭДТУК:

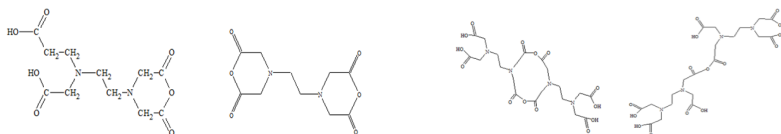
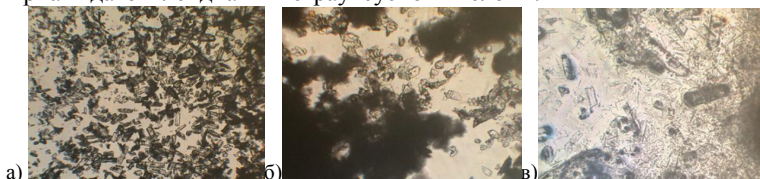


Рис.1 – моно и диангидрид ЭДТУК, а также продукты уплотнения неуставленного характера

Подтверждение структур полученных соединений проводили с помощью ПМР-спектроскопии.

Исходную кислоту, сложный эфир и синтезированный, соответствующий ей, амид подвергли увеличению с помощью электронного микроскопа. На рис. 2 показаны фотографии этилендиаминтетрауксусной кислоты, сложного эфира ЭДТА и триамида этилендиаминтетрауксусной кислоты.



а) этилендиаминтетрауксусной кислоты; б) сложный эфир этилендиаминтетрауксусной кислоты; в) триамид этилендиаминтетрауксусной кислоты.

Рис.2 – Электронные фотографии при 100 кратном увеличении

На электронных снимках видно, как различаются по структуре эти соединения, кристаллы кислоты – игольчатая форма, кристаллы эфира имеют квадратную форму, триамид имеет прямоугольную форму.

Выводы

Установлено, что выход триамида ЭДТУК и его производных составил 63%. Смесь производных алифатических амидов ЭДТУК полностью растворилась в ароматическом сольвенте и практически полностью в дизельном топливе. Синтезированный продукт ЭДТУК можно использовать в качестве

диспергатора парафинов углеводородных систем, например дизельных и остаточных топлив, масел в транспортной службе предприятия.

Список использованной литературы

1. Райхардт, К. Растворители и эффекты среды в органической химии / К. Райхардт. – М.: Мир, 1991. – 763 с.
2. Кемалов, А.Ф. Получение зимних сортов дизельного топлива с применением депрессорно-диспергирующих присадок на основе нефтехимического сырья / А.Ф. Кемалов // Вестник Казанского технологического университета. –2010. – №10. – с. 645-647
3. Плетнев, М.Ю. Поверхностно-активные вещества и композиции. Справочник. / М.Ю. Плетнев. – М.: ООО «Фирма Клавель», 2002. – 768 с.
4. Toshio Takeshita. Synthesis of EDTA-Monoalkylamide Chelates and Evaluation of the Surface-Active Properties / Toshio Takeshita, Taka-Aki Shimohara, Shigeru Maeda. – Department of Applied Chemistry, Faculty of Engineering, Kagoshima University, Japan 1981 – p.104-107
5. Патент US 6071993 Paraffin dispersants for crude oil middle distillates / Basf Aktiengesellschaft опубл. 06.05.2000

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ*

Билалов Радик Рафикович, ФГБОУ ВО «КНИТУ», bill190.90@mail.ru
Дебердеев Тимур Рустамович, ФГБОУ ВО «КНИТУ», deberdeev@mail.ru
Каримова Лиана Катифьяновна, ФГБОУ ВО «КНИТУ», li-karimova@yandex.ru
Лексин Владимир Викторович, ФГБОУ ВО «КНИТУ», leksinvv@rambler.ru
Дебердеев Рустам Якубович, ФГБОУ ВО «КНИТУ», rudeberdeev@rambler.ru

Аннотация. Инновационная технология с применением устройства электромагнитного типа позволяет решить ряд проблем химической промышленности. Проведенные испытания и полученные результаты подтвердили высокую эффективность технологии при синтезе пластификатора поливинилхлорида, при получении лакокрасочных материалов и при приготовлении топливной эмульсии.

Innovative technology with the use of an electromagnetic type device allows solving a number of problems in the chemical industry. The tests carried out and the results obtained confirmed the high efficiency of the technology in the synthesis of the plasticizer of polyvinyl chloride, in the production of paint and varnish materials and in the preparation of a fuel emulsion.

Электромагнитное поле, комплекс воздействий, кавитация, интенсификация, ускорение

Современная химическая промышленность в своём развитии с каждым годом набирает обороты: появляются новые технологии, модернизируются старые. Главным образом развитие направлено на экономическую эффективность и экологическую безопасность. Таким образом, в любом направлении химической промышленности встаёт вопрос о методах решения энерго- и ресурсосбережения.

В большинстве случаев производство продукции на территории РФ с применением советских технологий экономически невыгодно. Импортные технологии, как правило, более современные, используют дешевое сырье и производят более качественную продукцию, с которой отечественная промышленность не может конкурировать.

Одним из направлений решения проблемы энерго- и ресурсосбережения является использование ранее не рассмотренной в промышленности технологии активации исходных реагентов с помощью устройства электромагнитного типа (УЭТ). Преимуществом предложенной технологии является воздействие на исходную реакционную смесь одновременно рядом явлений, которые при активации образуют синергетический эффект.

В число воздействующих эффектов входят следующие: кавитационный эффект, механическое смещение, электромагнитное воздействие. Интенсивность каждого перечисленного эффекта можно регулировать, и в процессе активации возможно добиться наибольшего воздействия того или иного из них.

Комплексное воздействие на реакционную массу устройством электромагнитного типа можно производить активацию химических веществ без применения высоких температур и давлений, производить интенсивное перемешивание в короткий промежуток времени, ускорять химические и физические процессы.

Устройство электромагнитного типа получила своё название благодаря использованию электромагнитного поля, которое приводит в движение ферромагнитные тела в рабочей зоне. Конструктивно устройство представляет собой проточный цилиндрический реактор из немагнитного материала. Реактор помещён в охватывающий цилиндр с рубашкой для циркулирующей охлаждающей жидкостью внутри, там же расположены индукционные катушки.

Скорость вращения электромагнитного поля и вращающихся совместно с ним рабочих тел в среднем составляет 2000–4000 об/мин. Высокая скорость вращения ферромагнитных рабочих тел создают вращающийся слой, который интенсивно перемешивает исходные реагенты и реакционную смесь.

Рабочие тела вращаются как по оси рабочей зоны УЭТ, так и по перпендикулярно собственной оси. В связи с этим в короткий промежуток времени происходит огромное количество соударений как рабочих тел друг с другом, так и рабочих тел со стенками рабочей зоны устройства. Из-за высокой скорости движения, в момент соударения частиц, в местах контакта возникает локальное высокое давление. В случае химической реакции в жидкой среде такое давление вызывает разрушение химических связей с образованием

активных центров. В случае использования твердых компонентов происходит интенсивное измельчение.

Высокая скорость вращения в жидкой среде сопровождается высоким кавитационным эффектом. В нашем случае, огромное количество схлопывающихся микропузырьков с освобождением энергии за счёт давления во всём объеме реакционной массы создаёт условия для разрыва химических связей. В случае приготовления эмульсий суммарный эффект способствует к интенсивному перемешиванию и образованию высокодисперсной эмульсии.

Были проведены исследования по усовершенствованию ныне существующих технологий по трём направлениям:

- ускорение химического синтеза получения диэфирных пластификаторов ПВХ на примере ДОФ;
- интенсификация процесса получения ЛКМ;
- получение топливных эмульсий с высокими показателями.

Химический синтез пластификатора поливинилхлорида.

Основной проблемой при получении фталатных пластификаторов ПВХ является большая продолжительность химического синтеза (до 25 часов в случае безкаталитического способа), высокая температура (до 250 С) и большое количество технологических стадий процесса (в случаях использования катализатора). Предполагалось, что использование УЭТ в роли реактора проведения синтеза ускорит химический синтез пластификатора благодаря созданию «критических условий» в рабочей зоне устройства и комплексному воздействию на исходные реагенты.

Полученные результаты экспериментов синтеза ДОФ с использованием УЭТ позволяют сделать вывод, что наиболее приемлемыми условиями проведения химической реакции этерификации в устройстве электромагнитного типа с получением пластификатора ДОФ, является использование ферромагнитных частиц диаметром 2 и 3 мм и соотношением l/d равным 7 и 15. Реакция этерификации с получением пластификатора в этом случае прошла в течении 15 минут и получили ДОФ, практически идентичный пластификатору, полученному промышленным способом.

При таких габаритах ферромагнитных тел возникает наибольший кавитационный и перемешивающий эффект в рабочей зоне УЭТ, что в свою очередь влияет на активацию исходных реагентов. Частотный диапазон электромагнитного поля должен составить 60-100 Гц. Данный частотный диапазон обеспечивает наибольшую скорость вращения ферромагнитных тел в реакторе, объёмом 200 см³ при использовании ферромагнитных рабочих тел в количестве 55 штук диаметром 2 мм и длиной 30 мм. В зависимости от времени активации в устройстве, возможно достижение практически полной конверсии и получения целевого продукта, по ряду параметров соответствующему требованиям ГОСТ. Температура исходных реагентов при этом должна быть не менее 80 °С для растворения твердого фталевого ангидрида в 2-этилгексаноле, и за счёт этого уменьшения времени активации реакционной массы в электромагнитном поле.

Активация в электромагнитном поле реакционной массы и проведение реакции этерификации с получением пластификатора ДОФ, подтвердили, что комплекс явлений в рабочей зоне устройства создаёт уникальные условия для ускорения ещё многих химических реакций. При правильном подборе параметров активации, можно провести практически любой синтез химических веществ без больших затрат энергоресурсов.

Приготовление высокоустойчивых топливных эмульсий.

Комплекс воздействий в рабочей зоне УЭТ позволяет получать высокоустойчивые топливные эмульсии. При подачи в устройство потока исходных компонентов, движущиеся с огромной скоростью (до 4500 об/мин и выше) ферромагнитные тела вызывают не только смешение реакционной массы, но и за счёт их ударного действия и разности скоростей сдвига в соседних слоях углеводородное топливо подвергается интенсивным деформациям с образованием мелких капель. Это происходит многократно и находящийся в воде комплексный стабилизатор эмульсии одновременно сорбируются на межфазной поверхности капель, предотвращая их коагуляцию после снятия механического поля. Помимо создания интенсивного турбулентного потока формируется кавитационные полости, что приводит к резкому росту деформационного влияния на образование частиц топлива и дополнительному интенсивному их дроблению.

Результаты испытаний показали, что использование УЭТ при создании топливной эмульсии, состоящей из воды и топочного мазута марки М-100, увеличивают время жизни эмульсии в несколько раз по сравнению с традиционными методами.

Получение лакокрасочных материалов (ЛКМ).

Интенсификацию процесса механического измельчения компонентов ЛКМ в УЭТ было изучено на самых распространённых сыпучих веществах: тальк, каолин, диоксид титана, микрорамор.

Исследования показали, что интенсивное измельчение компонентов происходит даже в короткий промежуток времени во время обработки в рабочей зоне УЭТ.

Провели исследования на воздействия вихревого слоя ферромагнитных частиц на пленкообразующее вещество. Было установлено, что, несмотря на некоторое уменьшение молекулярной массы пленкообразователя в процессе его обработки в УЭТ, существенных изменений, препятствующих или ограничивающих применение УЭТ для получения ЛКМ, не происходит. Комплексное физическое воздействие на ЛКМ вносит дополнительно ряд преимуществ, увеличивающих качество получаемого продукта, степень измельчения пигментов и наполнителей. Учитывая, что процесс измельчения осуществляется в среде пленкообразующего, адгезионная прочность на межфазной границе также повышается.

Были изучены различные технологические факторы, влияющие на эффективность диспергирования в УЭТ пигментов и наполнителей, а именно:

- продолжительность обработки;
- степень заполнения рабочей камеры ферромагнитными телами;

- скорость вращения рабочих тел;
- форма и размер рабочих тел.

Таким образом, было выявлено, что рабочие тела длиной 20 мм и диаметром 2 мм являются оптимальным выбором. Максимально допустимое напряжение в 380 В, подаваемое на устройство, также является наиболее эффективным. Увеличение же количества рабочих тел в рабочей камере УЭТ может быть эффективной мерой для увеличения интенсивности работы экспериментальной установки.

Исследовали эффективность обработки в УЭТ товарных лакокрасочных материалов, в ходе которых установили, что измельчение увеличивает качество ЛКМ в несколько раз.

Вышеперечисленные примеры усовершенствованных технологий с высокими показателями полученных продуктов доказывают, что использование УЭТ в роли активатора или ускорителя в промышленности внесёт существенный вклад в развитие отечественных технологий и имеет большой потенциал. Кроме того, усовершенствованная технология не требует больших вложений благодаря простоте конструкции устройства, позволит экономить ресурсы и время. Данные технологии являются лишь частью всех тех, куда можно внедрить инновационную технологию.

* - Работа выполнена в рамках проекта **RFMEFI57815X0135**, ФЦП 14.578.21.0135 «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы».

ЭКСТРАКЦИОННЫЕ И ИМПРЕГНАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ФЛОИДНОГО СОСТОЯНИЯ

Билалов Т.Р.,^{1,2} Гумеров Ф.М.,¹ Гатина Р.Ф.²

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия

²Федеральное казенное предприятие «Государственный научно-исследовательский институт химических продуктов», Казань, Россия

Аннотация. Представлены результаты исследования растворимости различных органических соединений в сверхкритическом диоксиде углерода. Описаны основные факторы, влияющие на точность получаемых результатов и их количественные значения.

Abstract. Results of a study of solubility of different organic compounds in supercritical carbon dioxide are presented. The main factors affecting the accuracy of the results and their quantitative values are described.

Одним из ключевых направлений применения СКФ-технологий являются процессы экстракции и обратный ему – импрегнации ключевых компонентов соответственно из или в пористую структуру. Существенной проблемой в этом направлении, однако, является слабая изученность как теплофизических свойств двух- и более компонентных смесей в околоскритической области состояния вещества, характерной для обсуждаемых процессов, так и самих процессов в целом. В частности, если речь идет об экстракции веществ из пористых систем, то помимо кинетики процесса при различных термодинамических параметрах сверхкритического флюида, необходимо также знание тепло- и теплопроводности, теплоемкости растворимости и ряда других свойств смесей, включающих в себя целевую компоненту и сверхкритический флюид. Эти свойства необходимы как при моделировании изучаемых процессов, так и при их масштабировании при переходе от лабораторных стенов к промышленным объемам. Таким образом, целью данной работы явилось изучение кинетики экстракционных и импрегнационных процессов, протекающих с применением сверхкритического диоксида углерода, а также ряда теплофизических свойств, в первую очередь растворимости ключевых компонентов исследуемых систем, в сверхкритическом CO_2 .

В частности, в работе были изучены следующие экстракционные и импрегнационные процессы:

- Удаление коксовых отложений с поверхности катализаторов G-58E и DN-3531 в рамках задачи по регенерации катализаторов;
- Удаление тротила из тротил-содержащих изделий в рамках задачи по экологически-безопасному процессу утилизации этих изделий;
- Удаление этанола из пороха в рамках задачи по оптимизации его производства;
- Нанесение органических комплексов драгоценных металлов на пористую основу в рамках задачи по производству катализаторов;
- Нанесение водоотталкивающего покрытия на хлопковую ткань.

В основном все работы проводились на установках, описанных в работах [1-6]. В этих работах описана также методика проведения экспериментов и приведены результаты пробных измерений по растворимости, которые достаточно хорошо согласуются с имеющимися литературными данными.

Как уже было отмечено выше, растворимость является одним из ключевых свойств для обсуждаемых процессов, поскольку если извлекаемое или вводимое вещество во флюиде не растворяется, то о дальнейшем развитии работы речи быть не может, в то время как данные по растворимости в широком интервале температур и давлений флюида помогут правильно определить оптимальные термодинамические параметры того или иного процесса. Однако на корректность получения этой величины влияет большое количество различных факторов, в число которых входят, в том числе, корректность выбранной методики и чистота исследуемого вещества. Это, в частности, показано в работе [1] на примере антрацена, растворимость которого исследована различными авторами на изотерме 308 К. Из приведенного в

работе [1] графика видно, что разброс в ряде случаев достигает трехкратных значений, что объясняется как раз озвученными ранее причинами.

Существенное влияние на растворимость оказывает и наличие модификаторов, добавляемых к диоксиду углерода. На примере тротила видно, что всего 2.5% масс. ацетона и диметилсульфоксида увеличивают растворимость тротила в СК CO_2 соответственно примерно на 35% и 65% по сравнению с растворимостью в чистом CO_2 [2].

Таким образом, растворимость показывает, что применение сверхкритического флюидного процесса в принципе возможно, однако требуется также изучение его кинетики, поскольку в каждом конкретном случае будут свои особенности, которые также необходимо учитывать. Например, в случае регенерации катализаторов, применение соразтворителей заметно повышает эффективность процесса регенерации [3,4]. Однако не все так просто. Наиболее эффективным соразтворителем в силу своей высокой полярности является диметилсульфоксид (ДМСО). В то же время, в случае палладиевого катализатора G-58E, наличие серы в ДМСО необратимо отравляет катализатор, и от ДМСО приходится отказываться в пользу менее сильных соразтворителей. В случае катализатора гидрообессеривания DN-3531, ДМСО не вредит катализатору, поскольку тот изначально разработан с серой.

Несмотря на то, что результаты регенерации с использованием сверхкритического диоксида углерода позволили в обоих случаях почти полностью восстановить активность катализаторов [5], проведенные исследования выявили также, что образцы катализатора DN-3531, регенерированные с использованием смеси СК CO_2 и ДМСО имеют активность, сопоставимую с активностью исходных образцов. Дополнительные исследования показали, что причиной тому явился тот факт, что ДМСО вступал в реакцию с активными металлами катализатора, в частности с оксидом никеля, формируя растворимый в СК CO_2 комплекс, из-за чего содержание активных металлов на поверхности катализатора снизилось почти в 2 раза [6]. Последнее подтвердилось и в результате исследования растворимости оксида никеля в смеси СК CO_2 и ДМСО, результаты которого представлены на рис. 1.

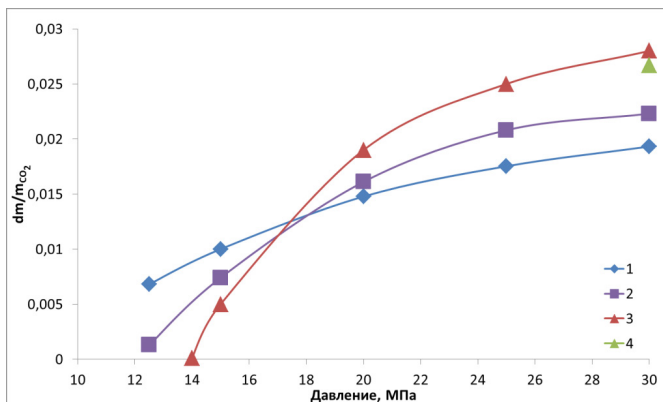


Рис. 1. Растворимость оксида никеля в СК CO_2 , модифицированном 5% масс. ДМСО в сравнении с данными по уносу NiO с поверхности катализатора на изотермах: 1 – 328.15 К, 2 – 343.15 К, 3 – 383.15 К, 4 – данные по уносу металла [6]

Не менее важно знать растворимость компонентов в сверхкритическом растворителе и при реализации обратного экстракции процесса импрегнации – пропитки обрабатываемого вещества модифицирующими добавками. В этом случае повышение растворимости позволит уменьшить количество циклов обработки и одновременно повысить качество пропитки. Последнее наглядно представлено в работе [7], в которой исследован процесс нанесения водоотталкивающего покрытия на различные образцы хлопчато-бумажной ткани. Повышение растворимости гидрофобизирующего агента – пальмитата аммония – за счет добавления соразвителя, приводит к увеличению краевого угла смачивания и как следствие увеличению водоотталкивающих свойств.

Авторы настоящего исследования выражают свою благодарность Российскому научному фонду (РНФ) за финансирование этих исследований в рамках гранта 14-19-00749.

Литература.

1. Ameer Abed Jaddoa, A.A. Захаров, Т.Р. Билалов, Р.Р. Накипов, И.Р. Габитов, З.И. Зарипов, Ф.М. Гумеров. Некоторые термодинамические свойства смеси «антрацен—диоксид углерода» в сверхкритической флюидной области состояния // Сверхкритические Флюиды: Теория и Практика, 2015, Т.10, №4, С. 18-35.
2. Т.Р. Билалов, Ф.М. Гумеров, Р.Ф. Гатина Растворимости тротила и его экстракционное извлечение из жестких сгорающих картузов с использованием чистого и модифицированного сверхкритического CO_2 // Сверхкритические флюиды. Теория и практика. 2016. Т.11. №4, С. 17-29.

3. Гумеров Ф.М., Сагдеев А.А., Билалов Т.Р. и др. Катализаторы: регенерация с использованием сверхкритического флюидного CO₂-экстракционного процесса. Казань: «Бриг». 2015, 264 С.

4. Gumerov F.M., Le Neindre B., Bilalov T.R., et al. Regeneration of spent catalyst and impregnation of catalyst by supercritical fluid. New York, Nova publisher, 2016. 168 P.

5. Jaddoa, A. , Bilalov, T. , Gumerov, F. , Gabitov, F. and Neindre, B. (2015) Regeneration of Nickel-Molybdenum Catalysts DN-3531 and Criterion 514 Used in Kerosene and Gas Oil Hydrotreating by Supercritical Carbon Dioxide Extraction. International Journal of Analytical Mass Spectrometry and Chromatography, **3**, 37-46. doi: [10.4236/ijamsc.2015.33005](https://doi.org/10.4236/ijamsc.2015.33005).

6. Jaddoa A.A., Билалов Т.Р., Гумеров Ф.М., Габитов Ф.Р., Зарипов З.И., Яруллин Р.С., Пимерзин А.А., Никульшин П.А. Сверхкритическая флюидная CO₂-экстракционная регенерация никель-молибденового катализатора гидроочистки. Катализ в промышленности. 2016;16(5):43-50. DOI:[10.18412/1816-0387-2016-5-43-50](https://doi.org/10.18412/1816-0387-2016-5-43-50)

7. T.R. Bilalov, A.A. Zakharov, A.A. Jaddoa, F.M. Gumerov, B.Le Neindre, Treatment of different types of cotton fabrics by ammonium palmitate in a supercritical CO₂ environment, In The Journal of Supercritical Fluids, Volume 130, 2017, Pages 47-55, ISSN 0896-8446, <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.07.036>.

РАЗРАБОТКА ТИПОРАЗМЕРНОГО РЯДА БЕЗМАСЛЯНЫХ СПИРАЛЬНЫХ ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ

А.В. Бурмистров¹, С.И. Саликеев¹, А.А. Райков¹, А. В. Тюрин², Е.Н. Капустин²

¹Казанский национальный исследовательский технологический университет, Россия, Республика Татарстан, 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68

²АО Вакууммаш, 420054, г. Казань, ул. Тульская, 58

Аннотация. Рассмотрены конструктивные особенности безмасляных спиральных вакуумных насосов типоразмерного ряда НВСП. Приведены основные этапы расчета и проектирования. Показано, что проектные параметры разрабатываемых насосов находятся на уровне лучших мировых аналогов.

Abstract. Design philosophy of scroll vacuum pumps of the dimension-type line is considered. The main stages of calculation and design are given. It is shown that project parameters of the designed pumps are at the level of the best foreign analogues.

Ключевые слова: спиральный вакуумный насос, безмасляный вакуум, типоразмерный ряд, профиль спирали, быстрота действия

Без создания «чистого» вакуума невозможно развитие таких высокотехнологичных приложений вакуумной техники как нанотехнология, микроэлектроника, медицина, фармацевтика, термоядерная энергетика,

пищевое и упаковочное производства. Особенности требования к чистоте вакуумной среды предъявляются в технологиях, связанных с изготовлением и использованием фотоэлементной аппаратуры для солнечной энергетики, плоскпанельных дисплеев, элементов электронных схем субмикронных и нанометровых размеров, для производства материалов, компонентов и изделий микросистемной техники. Поэтому в настоящее время очень востребованы насосы, способные создавать и поддерживать вакуум, незагрязненный парами рабочей жидкости. Одной из разновидностей таких насосов, приобретающих все большую популярность [1], являются спиральные вакуумные насосы (НВСП). НВСП выпускают практически все ведущие производители вакуумной техники, среди которых «Anest Iwata» (Япония); «Varian Vacuum Technologies» (США); «Oerlikon Leybold» (Германия); «Edwards» (Англия), «Busch» (Германия), «Ulvac» (Япония) [2-7]. Номинальная быстрота действия промышленных НВСП составляет от 3 до 60 м³/час.

С учетом курса России на импортозамещение АО «Вакууммаш» совместно с Казанским национальным исследовательским технологическим университетом был реализован проект «Создание высокотехнологичного производства безмасляных спиральных вакуумных насосов для индустрии наносистем и наноматериалов» и с 2016 года начато производство трех НВСП различной производительности. Проведенный анализ показывает, что насосы производства АО «Вакууммаш»: НВСП-4, НВСП-12, НВСП-35 находятся на уровне лучших мировых аналогов (рис. 1).

Основным недостатком существующих спиральных насосов является относительно низкая быстрота действия. Опыт, накопленный за время проведения НИОКР показывает, что возможно создание конструкции насоса, обеспечивающей большую производительность. Поэтому типоразмерный ряд спиральных насосов АО «Вакууммаш» предлагается дополнить насосом НВСП-65 позволяет получить номинальную быстроту действия 56,6 м³/час (при геометрической быстроте 65 м³/час), недостижимую для российских и зарубежных аналогов (рис. 1).

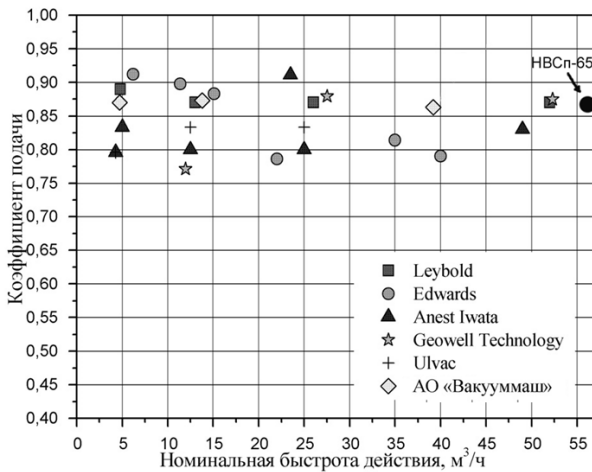


Рис. 1. Сравнение характеристик спиральных вакуумных насосов

Первым этапом разработки является выбор геометрии спиральных элементов. Классической является однозаходная эвольвентная спираль, ее преимуществом является простота расчета и изготовления. В насосах НВСП-4, НВСП-12 используется конструкция с односторонней спиралью. Ее преимуществом является простота изготовления и возможность герметизации подшипниковых узлов при помощи сильфона. Однако для насосов с высокой быстротой действия такая конструкция не подходит из-за больших габаритов. Также использование большого эксцентриситета вала приведет к росту вибрации и шума. Поэтому для насоса НВСП-65 выбрана геометрия с двухсторонней спиралью (рис. 2). Основным отличием двухстороннего спирального элемента от одностороннего является увеличенный концевой участок, позволяющий разместить в нем приводной вал с подшипниками. Параметры газа в рабочих полостях, расположенных по разные стороны торцевого диска одинаковы, что вызывает взаимную компенсацию газовых сил. Такая конструкция позволяет снизить размер подшипниковых узлов в корпусе и крышке насоса, уменьшить их размеры и стоимость. На форму спирального концевой участка получен патент № РФ 2565342.

Для снижения остаточного давления и повышения характеристик насоса спирали изготавливаются с переменным зазором (патент №2015138655/12).

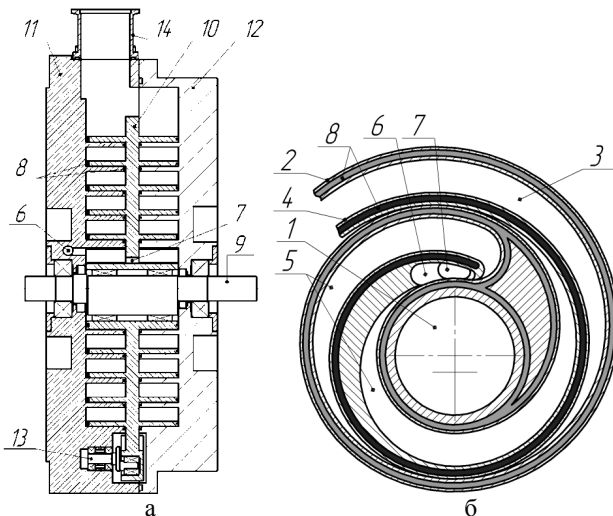


Рис. 2. Роторный механизм спирального вакуумного насоса: а – поперечный разрез, б – концевые участки спиральных элементов

1 – отверстие вала, 2 – спираль подвижного спирального элемента, 3 – эвольвентная расточка, 4 – спираль неподвижного спирального элемента, 5 – рабочие камеры, 6 – выхлопное отверстие, 7 – сквозное отверстие, 8 – канавка уплотнителем, 9 – вал, 10 – подвижный спиральный элемент, 11, 12 – неподвижные спиральные элементы, 13 – противоположное устройство, 14 – всасывающий патрубок

На следующем этапе по заданной производительности подобраны геометрические параметры спиралей, по которым построена геометрия рабочих элементов [8]. Затем рабочие условия и геометрия рабочих элементов внесены в математическую модель.

В основе математической модели рабочего процесса НВСП [9] лежат дифференциальные уравнения, предложенные М. А. Мамонтовым и Б. С. Фотиним, которые основаны на энергетическом балансе термодинамической системы переменной массы. Расчет ведется методом последовательных приближений. По полученным индикаторным диаграммам определены основные характеристики насоса: быстрота действия и потребляемая мощность. Также в математической модели учтено изменение величин обратных перетеканий за счет движения стенок рабочей полости, увеличение зазоров за счет тепловой и силовой деформации, внедрена термодинамическая модель для учета теплообмена между рабочим газом, элементами насоса и окружающей средой.

По результатам математического моделирования проведена оптимизация геометрии рабочих элементов насоса таких как число витков, величина эксцентриситета и толщины стенок спирали, размеров концевой участка.

Также проведен расчет газовых сил, действующих на спиральные элементы, знание величин которых необходимо для подбора подшипников.

На основе полученных данных разработан комплект конструкторской документации.

Литература

1. Бурмистров, А.В. Некоторые аспекты выбора безмасляных насосов среднего вакуума / А.В. Бурмистров, С.И.Саликеев, А.А. Райков // Вестник Казанского технологического университета. - 2013, Т.16. – № 10. - С.220-223.

2. Dry Scroll Vacuum Pumps [Электронный ресурс] / AnestIwata. - USA.: AnestIwata,2013.- Режим доступа: <http://anestiwata.com/product-category/vacuum-pumps/>, свободный.

3. SCROLLVAC Scroll Vacuum Pumps [Электронный ресурс] / Oerlikon Corporate Switzerland. - Switzerland.:Oerlikon Corporate Switzerland, 2013.- Режим доступа: https://leyboldproducts.oerlikon.com/products/produktkatalog_03.aspx?cid=20_3 свободный.

4. Edwardsn XDS - the great new shape of dry vacuum pumping [Электронный ресурс] /Edwards Ltd.- United Kingdom.: Edwards Ltd,2013.- Режим доступа: http://www.edwardsvacuum.com/nxds/en/index.html?cmpid=HomepageLink_nXDS0412, свободный.

5. Busch: Info.Fossa– Spiral vacuum pump [Электронный ресурс] / BuschGmbH.-Germany.:BuschGmbH,2013. – Режим доступа: <http://www.busch.de/en/products/product-portfolio/fossa/info/>, свободный.

6. Agilent (Varian) Scroll Pumps [Электронный ресурс] – Режим доступа:http://www.lesker.com/newweb/Vacuum_Pumps/scrollpump_varian.cfm, свободный.

7. Small Dry Pumps [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ulvac.com/vacuum-pumps-components/system.cfm?cid=42&scid=100&sid=16>, свободный.

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. № 2015617873. Программный комплекс моделирования рабочих процессов спиральных вакуумных насосов / Бронштейн М.Д., Райков А.А., Саликеев С.И., Бурмистров А.В.; правообладатель ФГБОУ ВПО "КНИТУ"; заявка № 2015614598, дата поступления 01.06.2015; дата гос. регистрации в Реестре программ для ЭВМ 23.07.2015.

9. Райков, А.А. Всережимная математическая модель рабочего процесса спирального вакуумного насоса / А.А. Райков, Р.Р. Якупов, С.И. Саликеев, А.В. Бурмистров, М.Д. Бронштейн // Компрессорная техника и пневматика. - 2014, – № 1. - С. 18-25.

РОТОРНЫЙ НАГНЕТАТЕЛЬ ВНЕШНЕГО СЖАТИЯ С ГАЗОВЫМ ЭЖЕКТОРОМ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА, ХАРАКТЕРИСТИКИ

Визгалов С.В., Волков М.В., Чекушкин Г.Н., Хисамеев И.Г.

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68

Аннотация. Рассмотрен роторный нагнетатель внешнего сжатия типа Рутс при работе с эжекторной приставкой для улучшения его характеристик. Представлены результаты расчета мгновенных параметров рабочей полости по математической модели. Получены внешние характеристики нагнетателя, на основе которых сделаны выводы о возможных рабочих характеристиках нагнетателя.

Abstract. A positive displacement Roots blower with two- or three-lobe straight-tooth or twisted rotors demonstrates high performance with small specific dimensions and is used to boost internal combustion engines, aerate tanks of treatment facilities, is employed in air and gas transport systems in the food, petrochemical and metallurgical industry. The purpose of developing a mathematical model for a blower working in conjunction with an ejector adapter and the further research is to determine the efficiency of this scheme un-der different discharge pressure conditions and different ejector active flow temperatures (the gas cooling effect before the nozzle).

Ключевые слова. Роторный нагнетатель Рутс, эжектор, внешние характеристики.

Нагнетатель объемного действия типа Рутс с двух или трехлопастными, прямозубыми либо закрученными роторами имеет высокую производительность при небольших удельных габаритах и применяется для наддува ДВС, аэрации резервуаров очистных сооружений, пневмо- и газотранспорта в пищевой, нефтехимической промышленности, а также в металлургии. Традиционная область его использования как «сухой» машины ограничена отношением давлений на уровне 1,4...1,6. Это вызвано особенностью рабочего процесса сжатия газа, связанной с

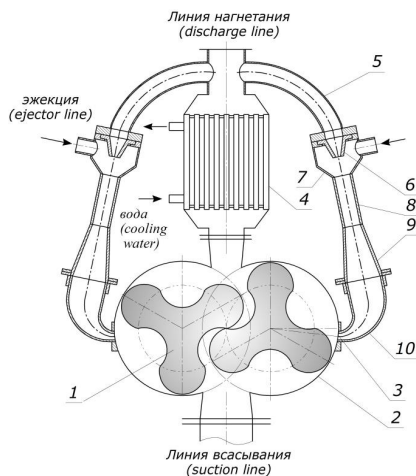


Рис. 1. Схема трехлопастного нагнетателя Рутс с эжекторной

неизменностью объема рабочей полости, переносимой со стороны всасывания на сторону нагнетания газа и большим влиянием обратного натекания потока газа в момент раскрытия полости на нагнетании. В результате этого процесс сжатия достаточно близок к изохорному, что приводит к резкому снижению эффективности, коэффициента подачи, росту пульсаций давления и уровня шума при увеличении как скорости вращения роторов, так и давления в нагнетательной линии (отношения давлений).

Известно несколько способов, уже реализованных в конструкциях нагнетателей Рутс, имеющих прямозубые роторы с тремя и более лопастями, в которых применена идея перепуска части сжатого газа с нагнетания в замкнутую полость с целью повышения плавности процесса повышения давления в ней и снижения показателя политропы сжатия. Этот способ не основан на физическом уменьшении объема полости, но он также способствует снижению пульсаций давления газа на нагнетании. Наиболее простое решение дано в пат. [1], где за счет выполнения каналов на внутренней поверхности корпуса идет простой перепуск газа без его охлаждения. В работе [2] экспериментально оценено снижение шума, достигаемое при этом, которое составило от 3 до 10 дБ(А). Та же идея, в несколько измененном конструктивном варианте, используется в серии нагнетателей по технологии WHISPAIR, выпускаемых фирмой Howden (модели URAI-J, URAI-J DSL, RAM-J, RAM-GJ, RAM-VI, RCS-J). В других патентах [3, 4] предусматривается охлаждение сжатого газа во встроенном теплообменнике перед его перепуском по внешним трубопроводам, подключенным к корпусу компрессора. В этом случае конструкция усложняется, но возможна работа нагнетателя при повышенном отношении давлений до 1,8.

Более целесообразным является способ перепуска части сжатого газа в рабочую полость нагнетателя через эжектор. Данная схема трехлопастного нагнетателя Рутс с теплообменным аппаратом на нагнетании и двумя эжекторами представлена на рис. 1. От потока сжатого и охлажденного водой в теплообменнике 4 газа по трубопроводам 5 отбирается часть газа и подводится в активное сопло эжектора 6, за счет этого происходит подсос свежей порции газа низкого давления через пассивный патрубок в камеру смешения 7. Суммарный поток через цилиндрическую камеру 8, диффузор 9 и поворотный патрубок 10 подается через дополнительные щелевые окна 3 на корпусе нагнетателя в рабочую полость. Окна-щели 3 расположены со стороны каждой цилиндрической расточки по всей ее длине таким образом, что в процессе всасывания при соединении рабочей полости с патрубком всасывания они по возможности должны быть перекрыты лопастью ротора, сообщение с эжектором идет практически при отсечке от всасывания.

В данной схеме, реализуется как дополнительное всасывание свежего газа через эжектор, так и более плавный рост давления в полости в процессе ее переноса со всасывания на нагнетание при повороте ротора. Объемная эффективность и КПД данной схемы нагнетателя зависят от расположения щелевых окон, геометрических параметров эжектора, коэффициента эжекции, температуры активного потока, т.е. эффекта охлаждения.

Целью разработки математической модели нагнетателя, работающего совместно с эжекторной приставкой и проводимого затем исследования является определение эффективности данной схемы при работе на различных режимах по давлению нагнетания, по температуре активного потока в эжекторе (эффект охлаждения газа перед соплом). Причем, так как отношение давлений в нагнетателе не превышает 1,9 при работе на воздухе, режим работы эжектора является докритическим и сопло имеет коническую форму с уменьшающимся сечением, определяющим размером является диаметр выходного сечения сопла d_{s1} .

На основе подхода, разработанного в работах [5, 6, 7] построена математическая модель, учитывающая характер изменения объема рабочей полости по углу поворота ротора $V=f(\varphi)$, перетечки газа через зазоры по методике С.Е. Захаренко [8], теплообмен газа со стенками, процессы в эжекторе при допущении стационарности активного и пассивного потока. Данная модель относится к одномерным термодинамическим моделям, уравнения модели в виде дифференциальных зависимостей давления и температуры от угла поворота ротора представлены в работах [5, 9].

Область работы нагнетателя по величине отношения давлений $\Pi = p_{\text{disc}}/p_{\text{suc}}$ такова, что при использовании сжатого и охлажденного газа в качестве активного потока, степень расширения в сопле эжектора меньше критического отношения давлений, равного 0,529.

Для определения дополнительной массы газа m_{add} , подаваемого в рабочую полость необходимо знать характеристику эжектора в виде зависимости коэффициента эжекции μ от величины отношения $\Delta p_{\text{chamb}}/p_{\text{suc}}$, а также расход активного потока в сопле m_{byps} . Данная характеристика определялась расчетным путем, на основе закона сохранения импульса при течении в эжекторе и уравнений работы [10].

Результаты расчетов и выводы

На основе численного решения уравнений математической модели были получены индикаторные и температурные диаграммы рабочей полости компрессора, на их основе интегральные характеристики нагнетателя при работе с эжектором в виде зависимостей коэффициента подачи (объемного КПД) η_v , адиабатного индикаторного КПД η_{ind} и перепада температур $\Delta T_{\text{disc}} = T_{\text{disc}} - T_{\text{suc}}$ от отношения давлений в нагнетателе Π , которое изменялось в диапазоне 1,25...1,85. Все характеристики получены для постоянной геометрии сопла эжектора (диаметр выходного сечения $d_{s1}=5\text{мм}$) и фиксированного угла расположения дополнительного окна на корпусе компрессора $\gamma_{\text{eject}} = 85^\circ$.

Расчетные индикаторные диаграммы изменения давления и температуры газа в рабочем процессе нагнетателя как с использованием эжектора, так и при работе без него, показаны на рис. 2, 3 для $\Pi=1,6$ (на других режимах диаграммы аналогичны). На диаграммах выделены характерные состояния полостей по углу поворота ротора ($I-V$) от всасывания до нагнетания газа. Причем представлены два варианта использования перепуска с нагнетания: без

охлаждения газа перед активным соплом и с охлаждением потока в теплообменнике (величина недоохлаждения до температуры всасывания $\Delta T=5\text{K}$). Видно, в случае применения эжектора рост давления в рабочей полости начинается до момента ее отсоединения от окна всасывания с угла $\varphi=20,8^\circ$, что связано с началом поступления потока через эжектор. В процессе переноса полости (II, III) давление в ней продолжает расти более интенсивно, однако натекание свежего газа за счет эжектора в этот период сильно сокращается.

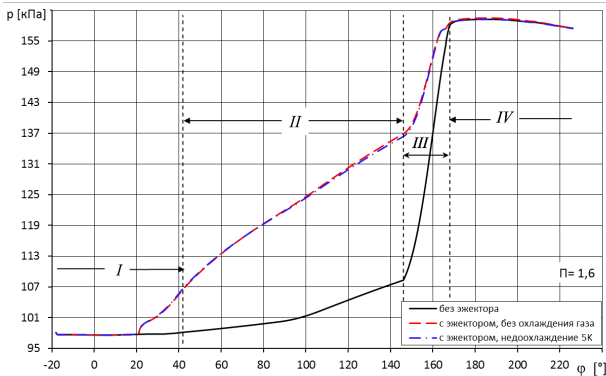


Рис. 2. Расчетные индикаторные диаграммы нагнетателя Рутс

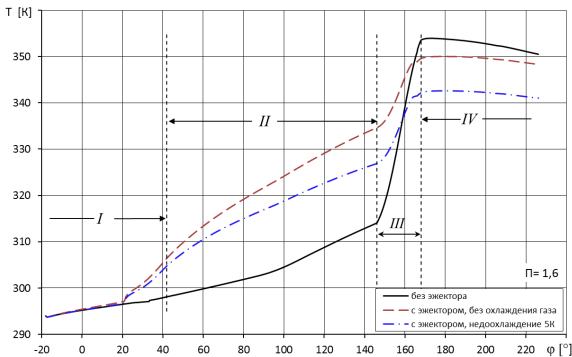


Рис. 3. Расчетные температурные диаграммы нагнетателя Рутс

Характер изменения температуры газа аналогичен изменению давления. В целом можно отметить довольно слабое влияние охлаждения газа на температуру и давление в рабочей полости, как видно (рис. 2) две кривые в координатах p - φ практически совпадают, но в координатах T - φ хорошо видно

снижение температуры газа в рабочей полости, которое в процессе нагнетания составляет $9\div 12\text{K}$.

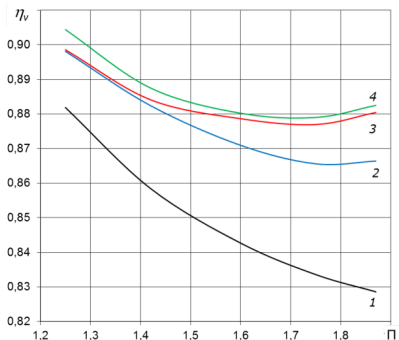


Рис. 4. Расчетные зависимости коэффициента подачи нагнетателя Рутс при работе с эжектором

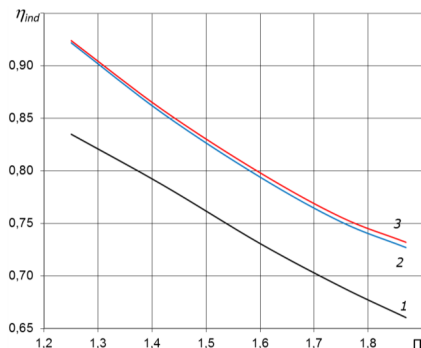


Рис. 5. Расчетные зависимости индикаторного адиабатного КПД нагнетателя Рутс при работе с эжектором

Полученные внешние характеристики нагнетателя представлены на рис. 4, 5, на которых кривая 1 есть характеристика нагнетателя при работе без эжектора. В случае применения эжектора и перепуска газа с нагнетания, но без его охлаждения нагнетатель имеет характеристики, представляемые кривыми 2, 3, 4. Перепад температур ΔT_{disch} снизился за счет добавления свежей порции газа низкой температуры в рабочую полость, при этом мы видим, что η_v , η_{ind} увеличились, причем с ростом Π наблюдается замедление снижения этих величин, а параметр η_v даже несколько возрастает при $\Pi > 1,75$.

Влияние величины охлаждения потока сжатого газа перед его подачей в сопло эжектора показывают кривые 3, 4. Расчеты проводились при разных температурах активного потока, величина которого задавалась как некоторое превышение над температурой всасывания $T_a = T_{\text{suc}} + \Delta T$. Кривая 3 получена при $\Delta T = 20\text{K}$, кривая 4 - при $\Delta T = 5\text{K}$. При охлаждении сжатого газа перед его подачей в сопло эжектора мы наблюдаем увеличение η_v на 0,5% при малых Π и на 1,65% при $\Pi = 1,8$, η_{ad} увеличивается очень незначительно, что обусловлено снижением объема дополнительно натекаемого газа с ростом его плотности при охлаждении. Таким образом, существенное охлаждение перепускаемого газа не требуется.

Проведенные расчеты показывают целесообразность использования перепуска газа с нагнетания в отсеченную полость с использованием эжекторной приставки с целью повышения энергетических характеристик нагнетателя.

Литература

1. US Pat. 4,215,977 Pulse-Free blower, 1980.

2. Ohtani I, Iwamoto T. Reduction of noise in positive displacement blower [J]. Bulletin of the JSME, 1981, 24(189): 547–554.
3. PST/US88/04066 Hi-ratio reciprocation gas compressor, 1989.
4. US Pat. 5,439,358 Recirculating rotary gas compressor, 1995.
5. Ibraev, A. M., Vizgalov, S. V., Khisameev, I. G. Analysis of the basic geometrical parameters influence on the efficiency of the Roots-type compressor on the basis of thermodynamic processes simulation. *8th Int. Conf. on Compressors and their Systems* (London: City University). 2013, 739 p.
6. Визгалов, С. В., Влияние внутреннего охлаждения на эффективность рабочего процесса шестеренчатого компрессора. Дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук, Казань, КГТУ, 2004, 212.
7. Ибраев, А.М. Повышение эффективности работы роторных нагнетателей внешнего сжатия на основе анализа влияния геометрических параметров на их характеристики. Дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук, СПб, ЛПИ, 1987. 208 с.
8. Захаренко, С.Е. К вопросу о протечках газа через щели. Труды ЛПИ. - №2, М.-Л.: Машгиз, 1953, 144–160 с.
9. Vizgalov, S. V., Chekushkin, G.N., Volkov, M.V. Investigation of three lobes roots blower with special ejector. *9th Int. Conf. on Compressors and their Systems* (London: City University). 2015, 757p.
10. Соколов, Е.Я., Зингер, Н.М. Струйные аппараты. М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУРБОХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ ПЕРЕВОДЕ НА ОЗОНОБЕЗОПАСНЫЕ ХЛАДАГЕНТЫ

Визгалов С.В., Мустафин Т.Н., Шарапов И.И.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»
(ФГБОУ ВО «КНИТУ»)
420015, Республика Татарстан, г. Казань, К. Маркса, 68

Аннотация. Описана методика расчета характеристик турбохолодильной машины при работе на различных хладагентах. Приведены результаты расчета холодопроизводительности, режимных параметров турбохолодильной машины.

Abstract. A technique for calculating characteristics of the turbo-cooling machine at work on various refrigerants. The results of calculation of cooling capacity, the operating parameters of the turbo-cooling machine

Ключевые слова: турбохолодильная машина, холодопроизводительность, альтернативный хладагент, хладоноситель.

В настоящее время на предприятиях химической промышленности эксплуатируются хладоновые турбохолодильные машины для охлаждения хладоносителя, работающие на запрещенных хлорсодержащих хладонах. Возникает задача перевода машин на современные озонобезопасные хладагенты. Необходимость перевода холодильных машин на альтернативный хладагент обусловлена принятием ряда запрещающих нормативных документов, а так же отсутствием производства запрещенных хладагентов. Основными международными соглашениями, регламентирующими современные требования к хладагентам по озонобезопасности и способности создавать парниковый эффект, являются Монреальский (1987 г.) и Киотский (1997 г.) протоколы. Согласно этим требованиям, содержащий хлор хладон R12 является запрещенным, как озоноразрушающий.

Для замены R12 наиболее подходящим хладагентом является R134a, близкий по термодинамическим свойствам. Хладагент R134a уступает хладагенту R12 по удельной объемной холодопроизводительности, поэтому простая замена хладагента в холодильной машине приведет к ухудшению ее показателей. Кроме того, замена хладагента на R134a в турбохолодильной машине приведет к изменению газодинамических параметров, определяющих режим работы турбокомпрессора, так как R134a в сравнении с R12 имеет иные значения молекулярной массы, газовой постоянной и показателя изоэнтропии. При переводе турбохолодильной машины на другой хладагент необходимо рассчитывать характеристики машины на новые условия работы.

Характеристики холодильной машины изменяются в зависимости от режимов теплообмена рабочего тела с охлаждаемым объектом в испарителе и с охлаждающей средой в конденсаторе. При установившемся режиме значения холодопроизводительности и потребляемой мощности определяются рабочей точкой на совмещенных характеристиках компрессора и теплообменных аппаратов. Характеристики компрессора, конденсатора и испарителя на установившемся режиме можно определить расчетно-графическим способом [1], однако менее трудоемко и более точно их можно рассчитать при помощи специальной расчетной модели.

Была разработана модель для расчета характеристик фреоновой турбохолодильной машины. Исходными данными для расчета являются: температура и расход охлаждающей воды на входе в конденсатор и хладоносителя на входе в испаритель соответственно; марка хладагента; свойства хладоносителя; геометрические параметры рабочих колес и скорость вращения ротора турбокомпрессора; геометрические параметры теплообменных поверхностей конденсатора и испарителя.

Данный расчет проводился численно с применением пакета программ «Microsoft Office» с применением VBA-скриптов и библиотеки, рассчитывающей свойства холодильного агента, разработанной на кафедре

Энергетического машиностроения Датского технического университета (Equation of state's programmed by Dep. Of Energy Engineering, DTU).

Особенность расчета характеристик холодильной машины заключается в том, что параметры хладагента на всасывании и нагнетании турбокомпрессора определяются температурой и давлением хладагента в теплообменных аппаратах, которые в свою очередь зависят от производительности турбокомпрессора и условий теплообмена хладагента с хладоносителем и охлаждающей водой. Поэтому поперочный расчет всей турбохолодильной машины является итерационным, в ходе расчета внутри каждой итерации корректируются параметры хладагента в узловых точках термодинамического цикла. В результате расчета определяется рабочая точка на характеристиках турбокомпрессора, конденсатора и испарителя, удовлетворяющая тепловому балансу машины в целом [1,2].

Методика расчета была реализована для турбохолодильной машины ХТМФ-235М-2000-I,II (I - $n=10500$ об/мин, II - $n=9500$ об/мин). Агрегатированные турбохолодильные машины типа ХТМФ работают по двухступенчатому холодильному циклу с двукратным дросселированием и неполным промежуточным охлаждением. Машины состоят из компрессорного агрегата, включающего центробежный компрессор, приводной электродвигатель, систему смазки, а также агрегата испарительно-конденсаторного типа АИК-2000.

Представлены результаты расчета при расходах охлаждающей воды через конденсатор $V_w = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$ и хладоносителя через испаритель $V_s = 350 \text{ м}^3/\text{ч}$, температуре охлаждающей воды на входе в конденсатор $t_{w1} = 24^\circ\text{C}$. В качестве хладоносителя принят водный раствор этиленгликоля. На рис. 1 -3 приведены результаты расчета холодопроизводительности Q_0 , температур кипения t_0 и конденсации t_k , температуры хладоносителя на выходе из испарителя t_{s2} в зависимости от температуры хладоносителя на входе в испаритель t_{s1} . Расчет проводился для хладонов R12 и R134a, при положительных температурах t_{s2} .

Из рис. 1 и 2 видно, что перевод ходильной машины ХТМФ-235М-2000-II на R134a приводит к снижению холодопроизводительности в среднем на 15%. На рис. 3 представлены результаты расчета холодопроизводительности и температурных параметров холодильной машины на R134a при большей частоте вращения ротора – 10500 об/мин. Повышение скорости вращения ротора с переходом на R134a позволяет получить режимные параметры холодильной машины близкие к параметрам при скорости вращения ротора 9500 об/мин на R12.

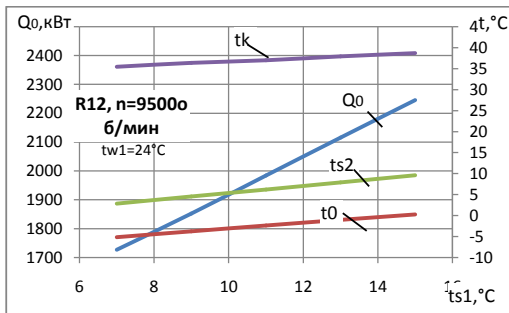


Рис. 1. Зависимость холодопроизводительности Q_0 , температуры хладоносителя на выходе из испарителя t_{s2} , температур кипения и конденсации t_0 и t_k от температуры хладоносителя на входе в испаритель t_{s1} при работе ХТМФ 235-2000 на R12

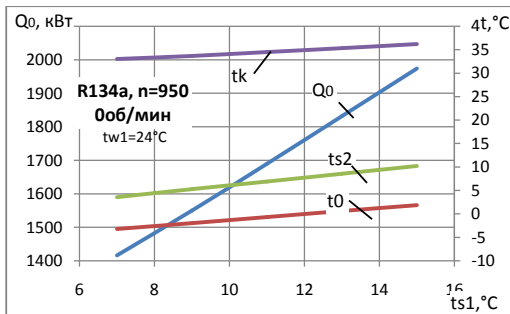


Рис. 2. Зависимость холодопроизводительности Q_0 , температуры хладоносителя на выходе из испарителя t_{s2} , температур кипения и конденсации t_0 и t_k от температуры хладоносителя на входе в испаритель t_{s1} при работе ХТМФ 235-2000 на R134a

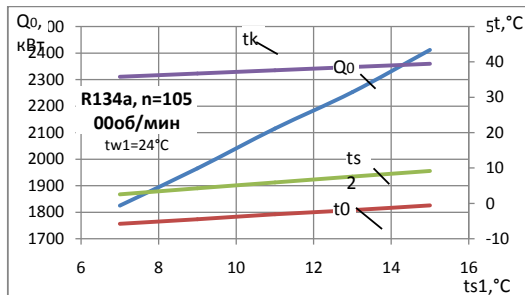


Рис. 3. Зависимость холодопроизводительности Q_0 , температуры хладоносителя на выходе из испарителя t_{s2} , температур кипения и конденсации t_0 и t_k от температуры хладоносителя на входе в испаритель t_{s1} при работе ХТМФ 235-2000 на R134a (n=10500 об/мин)

Таким образом, разработанная методика позволяет провести поверочный расчет холодопроизводительности, мощности турбохолодильной машины, режимных параметров при наличии исходных данных, перечисленных ранее. Методика может быть использована при проведении модернизации эксплуатируемого оборудования.

Список источников

1. Холодильные машины: Учебник для студентов вузов специальности «Техника и физика низких температур»; Под общ. ред. Л.С. Тимофеевского. – СПб.: Политехника, 1997. – 992с.
2. Чистяков Ф.М, Холодильные турбоагрегаты, -2-е изд., перераб. и доп.- М.:Машиностроение,1967.-288с.
3. Тепловые и конструктивные расчёты холодильных машин; Под ред. Кошкина Н.Н., Ленинград, «Машиностроение»,1976г.
4. Холодильные машины и аппараты. Каталог – справочник, часть 3. ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, Москва, 1971

МОДУЛЬНОЕ ПЛАЗМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Желонкин Я.О.^{1,2}

¹ООО «ПИ ВИ ЭС», Россия, 420022, г. Казань, Ул. Габдуллы Тукая, д. 82

²ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань, ул. К.Маркса, 68

Аннотация. Представлена отечественная разработка модульного плазменного прибора для обработки материалов в высокочастотном (ВЧ) газовом разряде пониженного давления. Оборудование по назначению является малогабаритной настольной вакуумной установкой для проведения научно-прикладных исследований по влиянию ВЧ плазмы на изменение физико-механических свойств различных по природе материалов для решения технологических задач.

Abstract. Presented domestic development of a modular plasma instrument for processing materials in a high-frequency (HF) gas discharge of reduced pressure. The equipment, as intended, is a small-sized desktop vacuum unit for performing scientific and applied research on the effect of high-frequency plasma on the change in the physico-mechanical properties of materials of different nature to solve technological problems.

Ключевые слова: вакуумное-плазменное оборудование, ВЧ газовый разряд, модификация, обработка, активация поверхности, научно-исследовательское оборудование.

Высокочастотная плазма пониженного давления имеет широкое применение в различных технологических процессах, таких как: плазмохимическое и реактивное травление (PE, RIE, ICP Etch), осаждение (PECVD), обработка порошков, пористых материалов, очистка и обеззараживание изделий и инструмента, плазменная полировка, легирование металлов и сплавов, адгезионная активации поверхности полимеров и текстильных материалов и т. д. Среди множества оборудования ВЧ плазменной обработки материалов, представленного на отечественном и мировом рынках, нет малогабаритных, настольных приборов, позволяющих совместить на одной платформе различные технологические процессы и обеспечить возможность оперативной модернизации и переоснащения системы для расширения исследовательских возможностей потенциального потребителя.

Наша компания предлагает настольное модульное плазменное оборудование, собственной разработки, позволяющей реализовать широкий ряд технологий с применением ВЧ разряда на одной платформе. Под платформой понимается модуль, в котором располагаются универсальные для различных плазменных процессов комплектующие систем вакуумной откачки, газоподачи, управления и электропитания. Технологический модуль, представляющий собой вакуумный объем (камеру) для размещения объекта обработки и устройства генерации плазмы (электроды, индукционный источник), конфигурируется по требованиям заказчика. Для расширения исследовательских возможностей предполагается опциональное оснащение аналитическими и диагностическими приставками (масс-, оптическая спектроскопия, зондовая диагностика и др.). Модульное плазменное оборудование представляется гибким и доступным инструментом для научно-прикладных задач и направленно на глобальную задачу динамичного развития исследований в области инновационных материалов.

Конструктивное исполнение разработанного оборудования представлено на рисунке 1. Технические характеристики представлены в таблице 1.



Рисунок 1 – Внешний вид оборудования

Таблица 1 - Технические характеристики оборудования

| Параметр | Значение |
|---|--------------------|
| Габариты Ш x В x Г, мм | 600 x 700 x 600 |
| Вес, кг | 98,52 |
| Тип исполнения | настольное |
| Максимальная мощность ВЧ генератора, Вт | 600 |
| Частота генератора, МГц | 13,56 |
| Предельная потребляемая электрическая мощность, кВт | 2,2 |
| Электропитание | 220 В, 1 ф., 50 Гц |
| Предельно остаточное давление в вакуумной камере, Па | 0,1 |
| Рабочее давление в камере, Па | 1-100 |
| Полезный объем вакуумной камеры, л | 40 |
| Расход плазмаобразующего и технологического газов по одному каналу, л/ч | 36 |
| Количество каналов газоподачи, шт. | 2 |
| Плазмообразующие газы | Аргон, Азот |

Разработка оборудования проведена в рамках НИОКР по программе «СТАРТ» при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям по Договору (Соглашению) №1471ГС1/23456 о предоставлении гранта на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ от 25.07.2016 г. между ООО «ПИ ВИ ЭС» и ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере».

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ОТЛИВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ С ПОВЫШЕННЫМИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОПОРОШКОВ ДЛЯ КОРПУСОВ АВТОМАТИКИ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИЗДЕЛИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Желонкин Я.О.¹, Муртазин Р.Н.², Саликеев С.И.^{1,2}, Бикташев А.А.²,
Пальцев А.В.^{1,2}, Сунгатуллин И.А.^{1,2}

¹ «Казанский национальный исследовательский технологический университет», 420015, Казань, ул.К.Маркса, 68

² ЗАО Ферри Ватт, 420087, Казань, ул. Аделя Кутуя 159.

Аннотация. Разработан эскизный проект комплекса и технологии для литья высоколегированных специальных и алюминиевых сплавов методом

вакуумной индукционной плавки, а также воздействия на расплав системы модифицирования расплавов с помощью нанопорошков и установки ультразвуковой обработки расплавов.

Abstract. Conceptual design of the complex and technology for casting high-alloyed special and aluminum alloys by the vacuum induction melting method, as well as the effect of melt modifying system by means of nanopowders and ultrasonic treatment of melts are developed.

Ключевые слова: ультразвуковая обработка расплавов, индукционная вакуумная печь, модифицирование расплавов с помощью нанопорошков

В рамках ОКР на стадии эскизный проект разработан опытный образец специального технологического оборудования для литья высоколегированных специальных и алюминиевых сплавов, предназначенный для исследования влияния на механические свойства алюминиевых литейных сплавов системы модифицирования расплавов с помощью нанопорошков и установки ультразвуковой обработки расплавов, а также технологии изготовления высокопрочных отливок.

В состав комплекса для литья высоколегированных специальных и алюминиевых сплавов входят:

- индукционная плавильная печь «ВАТТ-1300ВИП-С»;
- пульт дистанционного управления;
- система контроля футеровки тигля;
- установка для ультразвуковой обработки расплавов;
- система модифицирования расплава при помощи нанопорошков;
- анализатор (портативный рентгенофлуоресцентный) «МетЭксперт»;
- мобильный ударно-точечный маркировочный станок РМК-Эл-1120М с контроллером.

Индукционная плавильная печь «ВАТТ-1300ВИП-С» обеспечивает:

- плавное регулирование мощности на плавильном индукторе;
- регулируемой гидравлической системы поворота индукционной печи, позволяющее производить разлив требуемого количества металла порционно;
- наличие необходимых блокировок, которые обеспечивают повышенную надежность срабатывания при отклонении в работе установки;
- осуществление замера температуры расплава термопарой погружения, регистрация процесса - самозаписывающим устройством.

Технические характеристики индукционной плавильной печи указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики

| № п/п | Наименование показателей | Значение |
|-------|--|----------|
| 1 | Максимальная температура расплавов специальных сплавов в тигле, °С | 1300 |
| 2 | Вместимость тигля (по стали) | 45 |

| | | |
|---|---|---|
| 3 | Диапазон разброса температур расплава плавильной установки, °С | ±10 |
| 4 | Рабочий вакуум: - на холодной печи, мм рт.ст. - при плавке, мм рт.ст. | $1 \cdot 10^{-4}$ $5 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-2}$ |
| 5 | Особые характеристики оборудования | Наличие устройства для ввода наномодификаторов в расплав и установки ультразвуковой обработки сплавов |

Установка для ультразвуковой обработки расплавов обеспечивает низкочастотную или высокочастотную ультразвуковую обработку расплавов, обеспечивая (в зависимости от предъявляемых требований) повышение жидкотекучести расплава или значительное увеличение прочностных, пластических свойств и ударной вязкости металла в готовых отливках. Установка для ультразвуковой обработки расплавов (УУОР) обеспечивает характеристики, указанные в таблице 2

Таблица 2 – Характеристики установки ультразвуковой обработки расплавов

| № п/п | Наименование показателей | Значение | |
|-------|--|------------------|-----------------|
| | | Высоко-частотная | Низко-частотная |
| 1 | Рабочие частоты создаваемого оборудования, кГц | от 950 до 1200 | 22±1,65 |
| 2 | Напряжение однофазной питающей сети, В | 220±15 | 220±15 |
| 3 | Режимы работы генератора - непрерывный с автоматической подстройкой частоты (АПЧ) и с автоматической стабилизацией амплитуды (АСА) механических колебаний рабочего инструмента под нагрузкой | нет | есть |
| 4 | Предел плавной регулировки мощности, Вт | нет | от 10 до 250 |

Система модифицирования расплава при помощи нанопорошков позволяет осуществлять дозированное введение в расплав нанопорошков в процессе плавки в виде специально подготовленных спрессованных "таблеток" нанопорошка в носителе - порошке алюминия АСД4. Разработаны методики подбора состава наномодифицирующих компонентов, расчета их концентраций, а также расчета состава композиции нанопорошка с микрочастицами носителя. Задачей композиции является фиксация наночастиц на менее дисперсном носителе, с последующим прессованием данной смеси в формы таблеток или прутков, которые непосредственно подаются в расплав и

исключают улетучивание компонентов на всех этапах их эксплуатации. Расчет требуемой концентрации проведен при допущении, что количество наночастиц должно быть характерно количеству зерен в единице объема сплава, что отражает основную задачу наноконпонентов сплава в назначении концентратора роста мелкозернистой структуры. Допустимая концентрация определяется исходя из регламентированного состава рассматриваемых марок сплавов АЛ23-1 и АЛ4 по ГОСТ 1583-93. Разработана технологическая цепочка операций производства наномодифицирующих прессованных изделий в виде таблеток и технические решения для подачи модификаторов в расплав.

Анализатор «МетЭксперт» обеспечивает анализ состава сырья и шихты, анализ сплавов с возможностью измерения 80 элементов, разбраковку лома, входной контроль металлов и неметаллических материалов.

Учитывая исследовательский характер работ, имеющиеся неопределенности по совместному влиянию наномодификаторов и ультразвука, особенно в диапазоне высоких частот, на свойства алюминиевых сплавов, предусмотрена возможность установки УУОР на всех возможных позициях:

- над индукционной печью;
- над ковшом (изложницей) внутри вакуумной камеры;
- над ковшом (изложницей) вне вакуумной камеры;
- над литейной формой на позиции кристаллизации.

Также предусмотрена возможность введения наномодификаторов и их размещение в ковше вне вакуумной камеры.

Изготовление и испытание комплекса запланировано на 2018 год.

РАЗРАБОТКА И ОСВОЕНИЕ ВЫПУСКА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ТОРЦЕВЫХ УПЛОТНИТЕЛЕЙ ДЛЯ БЕЗМАСЛЯНЫХ СПИРАЛЬНЫХ ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ

Е.Н. Капустин¹, А.А. Исаев¹, А.В. Тюрин¹, А.В. Бурмистров²

¹АО «Вакууммаш», 420054, г. Казань, ул. Тульская, 58

²Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Россия, Республика Татарстан, 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68

Аннотация. Проведен анализ влияния типа торцевого уплотнения на откачные характеристики вакуумных спиральных насосов НВСП. Приведены результаты разработанных торцевых уплотнений насосов НВСП.

Abstract. The analysis of the end sealing influence on the pumping characteristics of the vacuum scroll pumps NVSp was conducted. The results of the developed end sealing of the pumps NVSp were specified.

Ключевые слова: вакуумный спиральный насос, торцевое уплотнение, откачная характеристика.

Предприятием АО «Вакууммаш» с 2016 года освоен выпуск сухих насосов вакуумных спиральных (НВСП) с быстротой действия 4, 12, 35 м³/ч [1]. Одной из задач, решаемых при проектировании НВСП, был подбор уплотнителей, располагаемых в канавках на торцах спиралей (рис. 1). Зарубежные аналоги данного насоса в качестве уплотнения торцевых каналов используют два вида уплотнителей: однослойный торцевой уплотнитель и двухслойный уплотнитель (аналогов которым в России нет)

Предприятием АО «Вакууммаш» в целях комплектования насосов НВСП, снижения цены, сокращения сроков изготовления и реализации программы импортозамещения разработаны три отечественных двухслойных торцевых уплотнителя, которые представлены на рис. 2, 3. Все уплотнители выполнены из отечественных материалов.

На АО «Вакууммаш» разработана технология склеивания фторопластовых листов и их нарезания по спирали на обрабатывающих центрах с ЧПУ. Все три вида двухкомпонентного торцевого уплотнения прошли комплекс необходимых испытаний. На данный момент серийные насосы НВСП комплектуются двухкомпонентными торцевыми уплотнениями собственного производства, которые, в свою очередь, значительно улучшают откачную характеристику насосов, являются экономически выгоднее зарубежных образцов в 4 раза и тем самым дают ряд конкурентных преимуществ насосам НВСП.

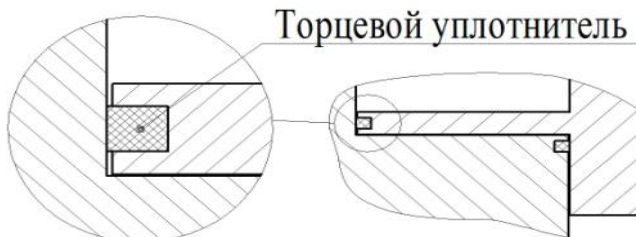


Рис. 1. Схема размещения торцевого уплотнителя



Рис. 2. Отечественные аналоги двухкомпонентного торцевого уплотнения производства АО «Вакууммаш»:

- а. Двухкомпонентный торцевой уплотнитель (антифрикционный слой выполнен из материала Ф4К15М5, слой, компенсирующий изменения торцевого зазора, выполнен из пористого силикона);
- б. Двухкомпонентный торцевой уплотнитель (антифрикционный слой выполнен из материала Ф4К15М5, слой, компенсирующий изменения торцевого зазора, выполнен из экспандированного фторопласта);
- в. Двухкомпонентный торцевой уплотнитель (антифрикционный слой выполнен из материала Ф4С5, слой, компенсирующий изменения торцевого зазора, выполнен из экспандированного фторопласта).

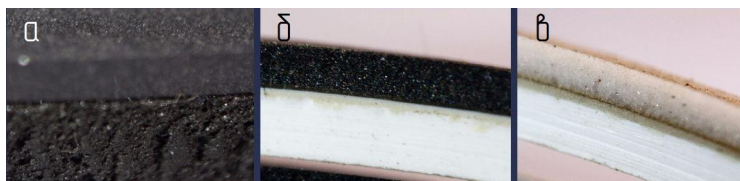


Рис. 3. Увеличенное изображение границ материалов двухкомпонентного торцевого уплотнения производства АО «Вакууммаш».

На этапе проектирования в насосе НВСП-12 использовался однослойный торцевой уплотнитель из антифрикционного материала на основе фторопласта Ф4К15М5.

С целью определения влияния вида уплотнителей на перетекания через торцевые зазоры были экспериментально исследованы откачные характеристики НВСП-12 с двухслойным торцевым уплотнителем зарубежного производства и с однослойным отечественным.

Анализ полученных данных (рис. 4) позволяет сделать следующие выводы:

1. В диапазоне давлений от 80 до 750 мм рт.ст. насос с однослойными торцевыми уплотнителями теряет быстроту действия на $\sim 25\%$ по сравнению с насосом с двухслойными торцевыми уплотнителями;
2. При давлениях от 10 до 80 мм рт.ст. быстрота действия соизмерима.
3. В диапазоне давлений от 2×10^{-1} до 10 мм рт.ст. у насоса с однослойными торцевыми уплотнителями быстрота действия ниже в среднем на 35 %.

Для подтверждения потери быстроты действия насоса с однослойными торцевыми уплотнителями по сравнению с насосом с двухслойными уплотнителями на рис.5, представлены характеристики двух насосов – зарубежных аналогов НВСП, которые исследованы ранее на кафедре ВТЭУ КНИТУ.

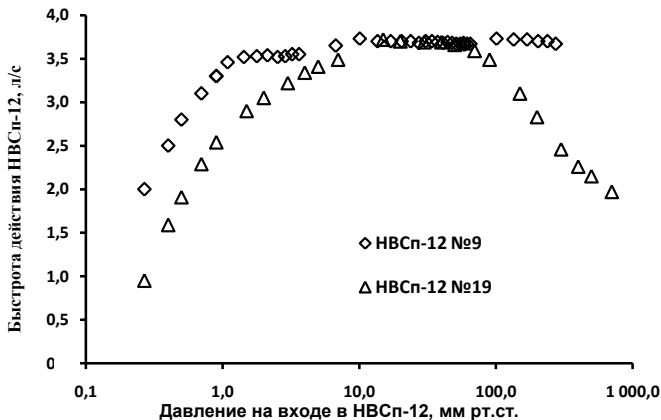


Рис. 4 Зависимость быстроты действия от давления на входе в насос: НВСП-12 №19 - насос с однослойными торцевыми уплотнителями; НВСП-12 №9- насос с двухслойными торцевыми уплотнителями

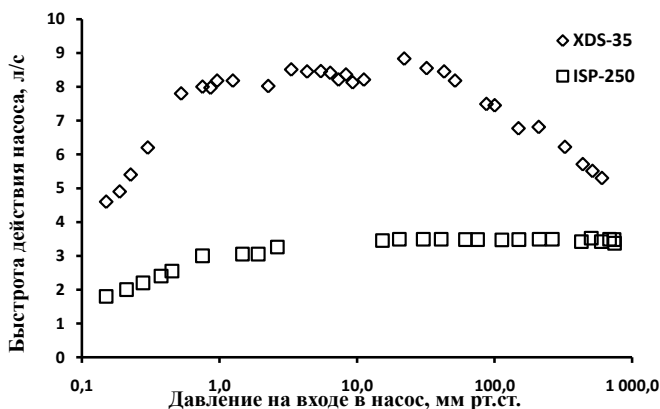


Рис. 5. График зависимости скорости действия насоса от давления:
 XDS35i спиральный вакуумный насос с однослойными торцевыми уплотнителями; ISP-250 спиральный вакуумный насос с двухслойными торцевыми уплотнителями

Как видно из рис. 4, 5, использование двухслойных уплотнителей с упругим подслоем значительно улучшает откачную характеристику спиральных вакуумных насосов и соответственно улучшает потребительские свойства насосов. Замена однослойного торцевого уплотнителя на двухслойный позволила уменьшить потери скорости действия разработанных насосов.

Литература

- Капустин, Е.Н. Этапы разработки типоразмерного ряда отечественных безмасляных спиральных вакуумных насосов/ Е.Н. Капустин, А.В. Бурмистров, С.И. Саликеев // Вакуумная техника и технология. –2015. – Т. 25, № 2. - С. 176-180.

ОБЕЗВОЖИВАНИЕ СПИРТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОЦЕССА ПЕРВАПОРАЦИИ

Клинов А.В.¹, Фарахов М.И.², Акберов Р.Р.², Фазлыев А.Р.^{1,2}, Латыпов Д.Р.¹, Хайруллин И.М.¹

¹ ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», кафедра процессов и аппаратов химической технологии, 420015, Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68

² ООО «Инженерно-внедренческий центр «Инжехим», 420049, Россия, г. Казань, ул. Шаляпина, д. 14/83

Аннотация. В данной работе приведены экспериментальные исследования первапорационного обезвоживания этанола, изопропанола, трет-

бутанола, диэтиленгликоля мембранами HybSi. Разработана математическая модель адекватно описывающая экспериментальные данные.

Abstract. In this work experimental studies of the pervaporative dehydration of ethanol, isopropanol, tert-butanol, diethylene glycol with HybSi membranes are presented. A mathematical model that adequately describes the experimental data is developed.

Ключевые слова. Первапорация, обезвоживание спиртов, HybSi.

Процессы разделения веществ широко представлены в различных отраслях химической, нефтехимической промышленности. Одним из наиболее распространенных процессов разделения гомогенных смесей является перегонка или ректификация. Применение данного процесса разделения сопряжено с высоким энерго- и ресурсопотреблением, а также имеет ограничения, связанные с разделением азеотропных, близкикопящих и термически нестабильных смесей.

Одной из альтернатив перегонке является мембранный процесс разделения, называемый первапорацией. В основу данного метода разделения положен принцип разного сродства компонентов разделяемой жидкой смеси с материалом мембраны. В результате этого становится возможным разделять азеотропные, термонестабильные смеси и смеси различных изомеров, а также близкикопящих смесей.

Разделение водных растворов спиртов – наиболее распространенная задача, встречающаяся в химической и других отраслях промышленности. Многие из спиртов образуют с водой азеотроп, препятствующий получению обезвоженного продукта традиционной перегонкой. Тем не менее, обезвоженные спирты находят применение в медицине, пищевой, топливной и других отраслях промышленности. Для решения задач выделения воды из спиртового раствора первапорацией используются гидрофильные мембраны. Селективный слой первапорационных мембран изготавливают из органических и неорганических материалов, которые имеют свои преимущества и недостатки. В настоящее время для создания селективного слоя мембран начали использоваться гибридные материалы, сочетающее преимущества органических и неорганических материалов.

В данной работе исследуемая мембрана имеет органо-неорганический селективный слой из материала HybSi, основа которого аморфный кварц, т.е. диоксид кремния. Неорганическая часть материала придает ему механическую прочность и гидрофильность, а органическая часть – гидротермальную устойчивость.

Для исследования процесса первапорации на различных мембранах была разработана и изготовлена экспериментальная установка [1, 2].

Эксперименты проводились по обезвоживанию этанола, изопропанола, трет-бутанола и диэтиленгликоля в диапазоне от ~50 до ~1 мас. % воды в сырье. Проведен анализ влияния температуры 60, 70, 80 °С в сырье и давления в зоне пермеата при 5 и 20 мм рт.ст. [1, 2].

Результаты обезвоживания этанола при температурах 60, 70, 80°C и давлении 20 м рт.ст. представлены на рис. 1 и 2. Как видно из рис. 1 поток воды \bar{j}_A (кг/м²ч) растет с увеличением температуры и уменьшается при уменьшении концентрации воды в сырье. Из рис.2 видно, что эксперименты показывают наличие максимумов на кривой зависимости коэффициента разделения α от концентрации воды в сырье \bar{x}^F_A [3].

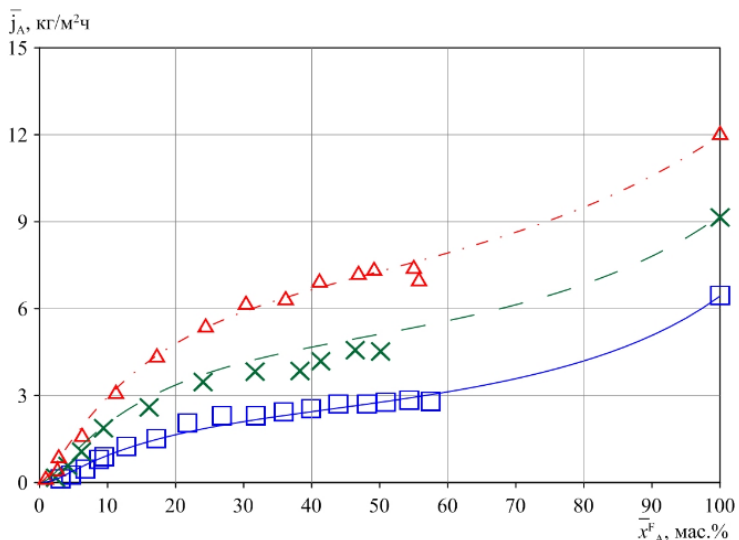


Рис. 1. Поток воды при обезвоживании этанола через мембраны HybSi от ее концентрации в сырье при температуре сырья 60°C (квадраты), 70°C (кресты) и 80°C (треугольники); при давлении пермеата 20 мм рт. ст.; геометрические фигуры - эксперимент; сплошная линия – расчет по модели

В таблице 1 приведены результаты обезвоживания спиртов при максимальных показателях коэффициента разделения. Из таблицы видно, что во всех случаях коэффициент разделения имеет высокие значения, наименьшее для смеси этанола-вода (150), а для смеси диэтиленгликоль-вода стремится к бесконечности. При этом потоки пермеата имеют значения приемлемые для промышленного применения.

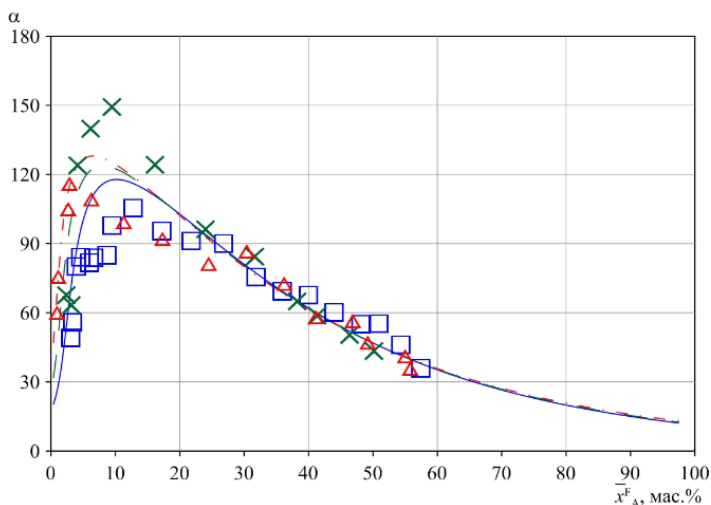


Рис. 2. Зависимость коэффициента разделения от концентрации воды в сырье при обезвоживании этанола через мембраны HybSi при давлении пермеата 20 мм рт. ст. при температуре сырья 60°C (квадраты), 70°C (кресты) и 80°C (треугольники); при давлении пермеата 20 мм рт. ст.; геометрические фигуры - эксперимент; сплошная линия – расчет по модели

Таблица 1. Результаты обезвоживания спиртов с помощью первапорационных мембран HybSi [1, 2, 3].

| Смесь | Концентрация, мас. % | Температура сырья, °C | Вакуум, мм рт.ст. | Поток пермеата, кг/м ² ч | α |
|----------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------------------|----------|
| Вода/Этанол | 90/10 | 80 | 20 | ~3.2 | ~150 |
| Вода/Изопропанол | 98/2 | 80 | 20 | ~1.5 | ~17000 |
| Вода/Трет-бутанол | 99.5/0.5 | 80 | 20 | ~1.6 | ~20000 |
| Вода/Диэтилэнгликоль | 99.5/0.5 | 80 | 20 | ~0.8 | >20000 |

На основе концепции «растворение-диффузия» разработана математическая модель процесса первапарации, содержащая три параметра, два из которых являются коэффициентами проницания чистых компонентов, а третий определяет «долю активных пор» [2]. Использование модели позволяет существенно сократить количество первапорационных экспериментов для проектирования первапорационной установки, а также определить оптимальные условия проведения процесса.

Как видно из рис.1,2 линии, соответствующие результатам расчета по модели, хорошо согласуются с экспериментальными данными во всем диапазоне концентраций воды в сырье. Использование модели позволяет расширить результаты первапорационных экспериментов, выполненных только в диапазоне концентраций воды в сырье 0–50 мас.%, в сторону более высоких концентраций и определить значения потока воды для всей концентрационной области (0–100 мас.%), избавив от необходимости проведения дополнительных первапорационных экспериментов в диапазоне концентраций воды в сырье от 50 до 100 мас.% [2].

Представленные на рис. 2 величины рассчитанных максимальных значений α отличаются от измеренных значений не более чем на $\pm 20\%$, также модель описывает характерное наличие максимумов на кривой зависимости коэффициента разделения α от концентрации воды в сырье \bar{x}^F_A .

Проведенное исследование показало потенциальную возможность применения керамических мембран HybSi для создания первапорационных установок обезвоживанию этанола изопропанола, трет-бутанола, диэтиленгликоля. Разработанная математическая модель описывающая процесс первапорации при различных условиях проведения процесса, позволяет рассчитывать необходимую поверхность мембран, для проектирования мембранного оборудования.

Литература

1. Akberov R.R. Pervaporation technology for regeneration of diethylene glycol at Russian complex gas treatment plants with the use of ceramic membranes HybSi / R.R. Akberov, A.R. Fazlyev, A.V. Klinov, A.V. Malygin, M.I. Farakhov, V.A. Maryakhina // Journal of natural gas science and engineering. – 2015, Vol.26. – P. 670-682.
2. Klinov A.V. Experimental investigation and modeling through using the solution-diffusion concept of pervaporation dehydration of ethanol and isopropanol by ceramic membranes HybSi / A.V. Klinov, R.R. Akberov, A.R. Fazlyev, M.I. Farakhov // Journal of membrane science. – 2017, Vol.524. – P. 321-333.

ИССЛЕДОВАНИЕ АДГЕЗИВОВ РЕЗИНА-МЕТАЛЛ НА ОСНОВЕ П-ДИНИТРОЗОБЕНЗОЛА И ХЛОРИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРОВ

Ключников О.Р., Мартынов А.В., Фонкоу Мелабонг Дж., Истамов Х.Й.

Казанский Национальный Исследовательский Технологический Университет,
420015, г. Казань, ул. Карла Маркса, 72

Аннотация. Проведено сравнительное исследование хлорированных полимеров для адгезивных композиций резина-металл. Приведены результаты данных исследования, где обнаруживается зависимость прочности связи резина-металлокорд от толщины наносимого покрытия.

Abstract. A comparative study of chlorinated polymers for adhesive rubber-metal compositions was carried out. The results of the study are presented where the dependence of the rubber-metal cord bond strength on the applied coating thickness is discovering.

Ключевые слова: хлорированные полимеры, *n*-динитрозобензол, хлорсульфированный полиэтилен, хлорированный полихлоропрен, хлорнаирит, хлорированный поливинилхлорид, хлорированный натуральный каучук, хлорированный полиэтилен, прочность связи резина-металлокорд.

Адгезивные композиции типа резина-металл нашли широкое применение в промышленности. Известны многочисленные адгезивные композиции на основе хлорированных полимеров (ХП), таких как хлорсульфированный полиэтилен (ХСПЭ) и хлорированный натуральный каучук (ХНК), в сочетании с *n*-динитрозобензолом (*n*-ДНБ), изоцианатами, наполнителями и добавками [1].

В данной работе с целью расширения доступной отечественной базы для промышленного производства адгезивов было проведено сравнительное исследование ХП для адгезивных композиций резина-металл. В качестве ХП использовались следующие: хлорсульфированный полиэтилен ХСПЭ-40 с содержанием хлора 65-70%; хлорированный полихлоропрен, или хлорнаирит, с содержанием хлора 65-68%; хлорированный поливинилхлорид CPVC с содержанием хлора 61-65%; хлорированный натуральный каучук CR-20 с содержанием хлора 65%; хлорированный полиэтилен HCPЕ-M с содержанием хлора 65%.

Модельные адгезивные композиции, содержащие указанные ХП и *n*-ДНБ, диспергировали в растворителе при температуре 20°C в течение 60 минут. Затем данные композиции наносили на вязальную проволоку из низкоуглеродистой стали диаметром $d=1,2$ мм с толщинами покрытия 0,5 мм и 0,05 мм и подвергали вулканизации с резиновой смесью на основе СКИ-3 марки 7-ИРП-1346 при температуре 151°C в течение 40 минут. Полученный вулканизированный пласт далее извлекли и выдерживали не менее суток при температуре 20°C. После выдержки вулканизированный пласт вырезался на образцы, которые затем отправлялись на испытание по известной методике [2]. Испытание проводилось на разрывной машине типа РМИ-250 со скоростью испытания 50 мм/мин.

В таблице приводятся результаты данных исследования, полученные при разрыве образцов.

Таблица. Результаты исследования прочности связи резина-металлокорд (в кгс) при разных толщинах покрытия

| Наименование хлорированных полимеров | Прочность связи резина-металлокорд при разных толщинах, кгс | |
|--|---|---------|
| | 0,5 мм | 0,05 мм |
| Хлорсульфированный полиэтилен–ХСПЭ-40 | 10,3 | 0,1 |
| Хлорированный полихлоропрен–хлорнаирит | 9,6 | 4,4 |
| Хлорированный поливинилхлорид – CPVC | 8,0 | 10,0 |
| Хлорированный натуральный каучук – CR-20 | 10,9 | 10,8 |
| Хлорированный полиэтилен – HCPE-M | 5,7 | 12,9 |

Как видно из таблицы, обнаруживается зависимость прочности связи резина-металлокорд от толщины наносимого покрытия на субстрат, где у ХСПЭ наблюдается ухудшение показателя прочности связи при уменьшении толщины покрытия, а у хлорированного полиэтилена, наоборот, увеличивается. Это свидетельствует о том, что толщина покрываемого адгезива на субстрат существенно влияет на прочность связи и зависит от природы используемого ХП. Необходимо отметить, что перспективными ХП для адгезивных композиций могут быть хлорированный поливинилхлорид и хлорированный полиэтилен.

Литература

1. Патент ЕПВ 014015, МПК C09J 123/28, C08K 3/00, C09J 11/04. Композиция адгезива с измельченным пигментом, способ ее нанесения, способ и адгезив для связывания эластомера с металлической поверхностью / Грин Кристиан К., Толлмадж Джек Н. (США); заявитель и патентовладелец Лорд Корпорейшн (США); пат. поверенные Медведев В.Н., Павловский А.Н. – №200602133, заявл. 16.06.2005, опубл. 30.08.2010, приоритет 16.06.2004, № 60/580,306 (США). – 37 с., ил.

2. ГОСТ 14863-69. Резина. Метод определения прочности связи резина-корд (Н-метод). – Введ. с 01.01.70 до 01.01.92. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 7 с.

ВИХРЕВЫЕ АППАРАТЫ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Махоткин А.Ф.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Казанский национальный исследовательский
технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»)

Инженерный химико-технологический институт
Факультет экологической, технологической и информационной
безопасности

Кафедра «Оборудования химических заводов»
Российская Федерация, Республика Татарстан, 420015, Казань, ул. Карла
Маркса, 68

Аннотация. Приведены результаты разработки и внедрения в производство высокоэффективных вихревых аппаратов для решения экологических проблем по сокращению газовых выбросов в химической промышленности.

Annotation. Results of development and introduction in manufacture of highly effective vortex devices for reduction of toxic gas emissions in the chemical industry are shown.

Ключевые слова: Вихревые аппараты, интенсификация массообмена, экология.

На протяжении нескольких лет научной деятельности перед нами была поставлена задача поиска решения актуальной проблемы промышленной экологии заводов производства энергонасыщенных материалов, а точнее, проблемы сокращения кислотных газовых выбросов в процессах нитрации. Эту проблему нам удалось решить на основе разработки и внедрения в производство принципиально новых вихревых аппаратов и новых высокоэффективных катализаторов. В настоящее время результаты работы внедрены в производство практически на всех отечественных заводах производства порохов, демонстрировались на международных выставках в пяти странах, приняты к внедрению за рубежом и отмечены государственной премией СССР в области науки и техники в 1991 году. Сейчас начаты работы по решению экологических проблем в других отраслях химической промышленности, включая производство кислот, удобрений, формальдегида, сульфита натрия, кальцинированной соды и других производств. Кроме того, имеются положительные результаты работы по решению экологических проблем теплоэлектростанций и заводов, производства строительных материалов.

В Казани мы тесно работаем с Казанским пороховым заводом. Начало работ относится к концу 60-х годов. Эти годы назывались периодом «холодной

войны». Казанский пороховой заводи другие заводы отрасли в те годы работали на полную мощность. На всех заводах отрасли кислотные газовые выбросы значительно превышали допустимые нормы. Залповые газовые выбросы на заводах буквально «душили» население. Из-за плохой экологической обстановки во многих городах страны проходили митинги трудящихся с протестом. Стерлитамак, Кемерово и другие города были отнесены к зонам экологического бедствия. В 70-ые годы по нашим проектам на Пермском пороховом заводе им. С.М. Кирова и на Казанском пороховом заводе были внедрены в производство первые вихревые аппараты. Новые аппараты обеспечили эффективную очистку отходящих газов от смеси паров и тумана азотной кислоты в процессах нитрации целлюлозы. Появилась первая возможность сравнить на практике эффективность нового направления с эффективностью отечественных и зарубежных аппаратов. Следует отметить, что действующие аппараты создавались раньше на основе анализа научно-технических достижений ведущих фирм США и Германии. Например, действующая установка абсорбции газов на Казанском пороховом заводе представляла собой заимствованный в США пленочный безнасадочный абсорбер. Установка, действующая на Пермском пороховом заводе, представляла собой целую систему, состоящую из 12 насадочных башен. Насадочные башни проектировались по образцу немецкой установки. Каждая ступень абсорбции газов в упомянутых установках орошается циркулирующей кислотой с помощью насоса. Например, семиступенчатый пленочный абсорбер имел для циркуляции кислоты семь рабочих и семь дополнительных кислотных насосов, находящихся в резерве. Работа действующих абсорберов сопровождалась большим брызгоуносом кислоты в атмосферу. Действующие абсорберы не позволяли применить перспективную технологию каталитической очистки отходящих газов аммиаком из-за образования в реакторе взрывоопасной соли.

Ошибка при проектировании действующих насадочных и безнасадочных абсорберов заключалась в том, что в них вообще не было элементов для улова тумана кислоты. Однако доля тумана велика. Исследование показало, что для эффективного улова тумана азотной кислоты в процессе очистки кислотных газовых выбросов необходимо применение рукавных фильтрующих элементов. Последнее одновременно обеспечивает ликвидацию брызгоуноса кислоты в атмосферу и возможность совмещения стадии абсорбции газов со стадией каталитической очистки газов аммиаком. Кинетика абсорбции паров азотной кислоты из отходящих газов описывается закономерностями массоотдачи в газовой фазе. Поэтому для интенсификации процесса абсорбции паров азотной кислоты необходимо обеспечить высокую степень турбулизации газовой фазы и быстрое обновление активной поверхности контакта фаз. Организация способа быстрого пронизывания газового потока через слой диспергированной жидкости в момент образования обновлённой активной поверхности контакта фаз обеспечивает максимальную эффективность массоотдачи. Последнее достигается в вихревых устройствах. Следовательно, единство в одном аппарате вихревых устройств и рукавных фильтрующих элементов приводит к

созданию новых абсорберов для высокоэффективной очистки отходящих газов от смеси паров и тумана токсичных веществ. Скорость газового потока внутри вихревого контактного устройства может быть в десятки раз больше скорости потока в насадочной башне. Последнее приводит к тому, что, по сравнению с насадочной башней, объём, масса и стоимость вихревого аппарата могут быть меньше в десятки раз. Эффективные вихревые аппараты могут быть как одноступенчатыми, так и многоступенчатыми; как с одним вихревым устройством на тарелке, так и с большим числом вихревых устройств; как с восходящим, так и с нисходящим способом взаимодействия фаз внутри вихревого устройства. Вихревое устройство может иметь разную конструкцию как завихрителя, так и сепаратора.

После пуска первых вихревых аппаратов на Казанском пороховом заводе остановлена эксплуатация действующего пленочного абсорбера, а на Пермском пороховом заводе остановлена эксплуатация установки, состоящей из 12 насадочных башен. Вихревые абсорберы одновременно позволили отключить все кислотные насосы для циркуляции кислоты. Для сравнения отметим, что материалоемкость 12 насадочных башен составляет 1 700 тонн, а материалоемкость нового вихревого пятиступенчатого абсорбера с рукавными фильтрующими элементами составила всего 6 тонн. Вихревой абсорбер работал на той же газодувке, что и насадочные башни, без увеличения энергозатрат. Количество уловленной кислоты увеличилось. Современные санитарные нормы очистки отходящих газов от остатков оксидов азота были достигнуты путем внедрения в производство второй стадии газоочистки. Вторая стадия представляет собой установку низкотемпературной каталитической очистки газов аммиаком. Для этой цели был разработан высокоэффективный железохромоксидный катализатор, который обеспечил повышенную надежность. Следует особо отметить, что вихревой абсорбер и реактор с новым катализатором обеспечили в комплексе эффективную очистку отходящих газов даже тогда, когда при разложении нитратов целлюлозы концентрация смеси паров, тумана азотной кислоты и оксидов азота увеличивается в десятки раз. Установка стала незаменимой в реальных промышленных условиях.

После получения положительных результатов в промышленности с целью дальнейшего развития эффективного направления совместным приказом двух министерств при Казанском химико-технологическом институте им. С.М. Кирова (ныне ФГБОУ ВО «КНИТУ») открыта отраслевая научно-исследовательская лаборатория «Регенерация отработанных кислот и комплексная очистка отходящих газов». При разработке научно-технических основ новых вихревых аппаратов и реакторов каталитической очистки отходящих газов большой вклад внесли сотрудники отраслевой лаборатории кафедры «Оборудования химических заводов»: главный инженер, лауреат государственной премии СССР Хапугин Игорь Николаевич; доктора технических наук, профессора Шамсутдинов Ахтям Маликович и Петров Владимир Иванович; кандидаты технических наук Сосновский Владимир Иванович и Жилияков Виктор Владимирович. Наиболее ценным был вклад представителей промышленности. В особенности, хотелось бы выразить

чувства благодарности следующим из них: генеральному директору научно-производственного объединения им. Ленина Богатыреву Сергею Георгиевичу; начальнику цеха №3 Лебедеву Николаю Васильевичу; заместителю главного инженера этого же предприятия Сапожникову Александру Дмитриевичу; начальнику цеха №3 Пермского порохового завода им. С.М. Кирова Гарееву Марселю Загитовичу; начальнику отдела охраны окружающей среды Соликамского завода «Урал» Гиссеру Якову Борисовичу; заместителю министра машиностроения СССР, доктору технических наук Забелину Леониду Васильевичу; главному инженеру третьего главного управления этого же министерства Шошину Анатолию Михайловичу; директору Стерлитамакского ПО «Авангард», кандидату технических наук Иванову Георгию Алексеевичу; заместителю генерального директора этого же завода по науке, доктору технических наук Газизову Флюсу Мирзасалиховичу; главе администрации города Стерлитамак, кандидату технических наук Ахметову Спартаку Галеевичу и многим другим. Также хочется отметить с благодарностью, что большую помощь в работе оказали: ректор КХТИ им. С.М. Кирова, член-корреспондент АН СССР Кирпичников Пётр Анатольевич; министр высшего и среднего специального образования РСФСР Образцов Иван Филиппович; генеральный директор хозрасчетного научно-производственного объединения МинВУЗа РСФСР Лаптев Владимир Михайлович. Это был этап образцового взаимодействия ВУЗа и промышленности.

Однако после решения проблемы очистки кислотных газовых выбросов процессов нитрации целлюлозы на заводах отрасли осталась сложная проблема очистки кислотных газовых выбросов процессов регенерации отработанных кислот и, прежде всего, проблема сокращения кислотных газовых выбросов процесса концентрирования отработанной серной кислоты. Материалоёмкость одной установки для концентрирования отработанной серной кислоты достигала 1 700 тонн. На каждом заводе отрасли таких установок было от 4 до 14. Общая стоимость установок составляла несколько десятков миллиардов рублей. Надёжность и эффективность действующих установок были низкими. Упомянутые установки были основными источниками кислотных газовых выбросов. Причина выброса в атмосферу большого количества диоксида серы и тумана серной кислоты заключалась в том, что внутри концентратора «Хемико» происходило нежелательное образование диоксида серы (из-за термического разложения серной кислоты) и образование высокой концентрации тумана серной кислоты (из-за значительного пересыщения газов парами серной кислоты). Заводы вынуждены были применять дорогие и громоздкие электрофильтры для улова тумана серной кислоты, а также дополнительные скрубберы для абсорбции диоксида серы. При решении этой проблемы мы пошли не по пути создания новых аппаратов для очистки отходящих газов, а разработали и внедрили в производство принципиально новый компактный концентратор серной кислоты, который обеспечил предотвращение процессов образования как диоксида серы, так и тумана серной кислоты. Новый концентратор был выполнен в виде вихревой ферросилидовой колонны. Вращение слоя жидкости на нижней ступени

обеспечило ликвидацию процесса образования диоксида серы. Организация повышенного брызгоуноса горячей кислоты с нижней продукционной ступени на последующую по ходу газа ферросилидовую ступень обеспечила ликвидацию процессов пересыщения газа и образования тумана серной кислоты. В результате впервые отпала необходимость как в применении дорогого и громоздкого электрофильтра для улова тумана кислоты, так и в применении сруббера для улова диоксида серы. Материалоемкость всей технологии концентрирования серной кислоты сократилась с 1 700 тонн до 30 тонн. Ферросилидовая часть новой колонны имела массу всего 8 тонн. Концентрация кислотных компонентов в отходящих газах уменьшилась с $0,5 \div 1,5 \text{ г/м}^3$ до $0,04 \div 0,1 \text{ г/м}^3$. После получения положительных результатов была выполнена реконструкция кислотного производства Казанского порохового завода с полным высвобождением всех действующих аппаратов. Таким образом, только на данном заводе были высвобождены устаревшие аппараты общей массой около 6 тысяч тонн. На всех заводах приступили к демонтажу действующих аппаратов, стоимость которых составляет более 40 млрд. рублей.

В разработку научных основ новой технологии концентрирования отработанной серной кислоты в вихревой ферросилидовой колонне большой творческий вклад внес доктор технических наук, профессор кафедры «Оборудования химических заводов», лауреат Государственной премии СССР Халитов Рифкат Абдрахманович. В настоящее время вихревые ферросилидовые колонны внедрены в производство не только в Казани, но и на заводах в других городах: Пермь, Котовск, Алексин и другие. Большую помощь в ускорении процесса создания первой промышленной колонны оказали: министр машиностроения СССР Бахирев Вячеслав Васильевич, заместитель министра Забелин Леонид Васильевич, генеральный директор Казанского НПО им. В.И. Ленина Богатырев Сергей Георгиевич, заместитель главного инженера этого же объединения Сапожников Александр Дмитриевич, директор проектного инситута СоюзХимПромПроект Ильясов Шамиль Гималетдинович и главный инженер этого же института Сушиков Николай Иванович. В настоящее время работа продолжается в направлении интенсификации как процесса денитрации отработанных кислот, так и производства серной кислоты.

Однако, к сожалению, в настоящее время химическое машиностроение лимитирует процесс внедрения прорывных технологий. Например, изготовление промышленных колонн из кислотостойкого ферросилида не только серьезно замедлено, но и практически остановлено. Вместе с тем область применения вихревых аппаратов расширяется и переносится на другие отрасли. В настоящее время получено подтверждение практической возможности резкого уменьшения стоимости аппаратов в различных крупнотоннажных производствах: серной кислоты, кальцинированной соды, аммиачной селитры, формальдегида и других. При этом открывается возможность создания новых производств большой единичной мощности. Особое значение получает актуальность изготовления новых аппаратов из коррозионностойких материалов. Например, на практике показано, что компактный вихревой аппарат в производстве серной кислоты может заменить

громоздкую и дорогую насадочную башню. Этот результат является ценным для заводов многих стран. Компактный вихревой абсорбер в производстве кальцинированной соды может заменить каскад дорогих абсорберов аммиака, одновременно обеспечивая уменьшение гидравлического сопротивления стадии абсорбции в десятки раз. Вихревой абсорбер в производстве аммиачной селитры может решить не только проблему экологии, но и проблему увеличения мощности производства. Для интенсификации только упомянутых химических производств требуется: ускорение темпов дальнейшего развития химического машиностроения, улучшение качества подготовки и переподготовки инженерных кадров, разработка более действенного механизма стимулирования процесса создания отечественных высокоэффективных аппаратов, катализаторов и новых прорывных технологий на их основе.

КОНТАКТНЫЙ КОНДЕНСАТОР ВИХРЕВОГО ТИПА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.

Москалев Л.Н., Поникаров С.И.

ФГБОУ ВО «КНИТУ», кафедра «Машины и аппараты химических производств», 420015, Российская Федерация, Республика Татарстан, г. Казань, К. Маркса, 68

Аннотация. В статье говорится о новой конструкции контактного конденсатора вихревого типа с энтальпийной эффективностью 96-98%. Показано одно из применений этой конструкции в химической промышленности. Также показаны результаты исследований конденсаторов смешения. Имеются сравнения технологической схемы действующей установки с модифицированной технологической схемой производства технического формалина, указаны достоинства применения предлагаемой конструкции аппарата.

Abstract. The article deals with a new design of a contact condenser of a vortex type with an enthalpy efficiency of 96-98%. One of the applications of this design in the chemical industry is shown. Also, he talks about the results of research on mixing capacitors. There are comparisons of the technological scheme of the existing plant with a modified technological scheme for the production of technical formalin, the advantages of using the proposed device design are indicated.

Ключевые слова: Контактный конденсатор вихревого типа, технический формалин, энтальпийная эффективность, энерго-ресурсосберегающие технологии, снижение экологической нагрузки.

Одной из важнейших проблем, стоящих перед предприятиями РФ, является неэффективное использование энергии и природных ресурсов, а также их негативное влияние на экологию и экономику нашей страны.

Практически во всех отраслях промышленности применяются тепломассообменные процессы, эффективность которых в большей степени

зависит от конструкции аппаратов. Преимуществами контактных конденсаторов являются высокая интенсивность процессов тепломассообмена, незначительная металлоемкость аппаратов и простота их конструкции, возможность повышения/понижения температурного уровня технологических процессов, значительное уменьшение габаритов.

Интенсификация тепломассообменных процессов обеспечивается не только выбором соответствующих гидродинамических режимов работы традиционных аппаратов, но и разработкой нового эффективного оборудования.

В химической промышленности существуют процессы, в которых аппараты смешения играют очень важную роль. Они являются одновременно и конденсаторами, и каплеуловителями, например, в производстве метанольного формалина: конденсация / улавливание непрореагировавших капель / паров метанола и метандиола.

Поэтому разработку высокоэффективного аппарата смешения предназначенного для конденсации или улавливания следует считать актуальной.

Предлагается использовать разработанный на кафедре МАХП КНИТУ контактный конденсатор вихревого типа рис. 1. На этот аппарат получены патенты [1, 2].

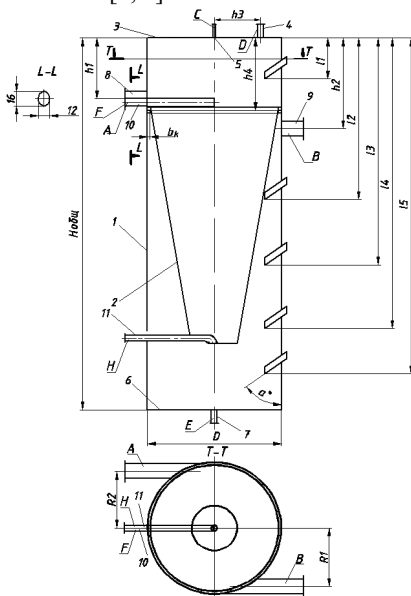


Рис. 1 – Контактный конденсатор вихревого типа

Контактный конденсатор вихревого типа содержит цилиндрический корпус 1, внутри которого соосно установлено регулярное перфорированное полого конусообразное вихревое устройство (КВУ) 2, крышку 3 с патрубком 4 для отвода неконденсируемых паров (газов) и с коаксиально закрепленной распыливающей центробежной форсункой 5 (с винтовым завихрителем) для подачи охлаждающей жидкости, днище 6 с патрубком 7 для отвода конденсата. На противоположных сторонах верхней части корпуса 1 над и под верхней кромкой КВУ установлены патрубки 8 и 9 для ввода пара. Для измерения перепада давления рабочей среды в аппарате предусмотрены два штуцера 10, 11 выходы которых расположены соосно с аппаратом 1.

Экспериментальные исследования процесса контактной конденсации в контактном конденсаторе вихревого типа проводились на экспериментальной установке для доступных однокомпонентных систем «вода-водяной пар» и «этанол-пары этанола» описанной в литературе [3]. Далее построена математическая модель предлагаемого аппарата, которую можно считать адекватной, поскольку экспериментальные данные хорошо согласуются с расчетными по этой модели.

В предлагаемом аппарате получены следующие результаты:

1. При исследовании энтальпийной эффективности, при различных плотностях орошения, максимальная эффективность составила 96-98%. Эта эффективность намного выше существующих конструкций таких аппаратов.[4, 5, 6]

2. Гидравлическое сопротивление в процессе конденсации водяного и этилового паров в вихревых условиях получено равным $8 \div 12$ мм.вод.ст. или $78,48 \div 117,72$ Па, что является незначительным по сравнению с существующими конструкциями.

3. Выявлены три зоны работоспособности предлагаемого аппарата.

4. при применении предлагаемой конструкции количество неконденсируемых паров на выходе значительно меньше, чем при сравнении с традиционной конструкцией конденсатора смешения.

Предлагается разработанную конструкцию контактного конденсатора вихревого типа использовать для конденсации и улавливания паров метанола и формальдегида (абсорбционные газы) в процессе абсорбции производства технического формалина. В состав абсорбционных газов, отправляемых на сжигание, входят: метанол (20,2 кг/ч) и формальдегид (20,2 кг/ч), на практике бывает в 4-6 раз больше. Эти абсорбционные газы (пары) утилизируются в факельных системах, однако они не успевают сгорать полностью.

Применение предлагаемой конструкция контактного конденсатора вихревого типа позволит основную часть непрореагировавших веществ конденсировать с возвращением в основной процесс.

В универсальном моделирующем пакете построена модель модифицированной технологической схемы абсорбции метанола и формальдегида производства технического формалина с использованием предлагаемой конструкции аппарата. [8]

Сравнения действующей, в настоящее время на химических предприятиях, технологической схемы и модифицированной технологической схемы с интеграцией контактного конденсатора вихревого типа показали, что количество метанола в абсорбционных газах снижается практически в 3-4 раза, количество формальдегида в абсорбционных газах составит менее 0,002 ppm.

Таким образом, с помощью контактного конденсатора вихревого типа снимется экологическая нагрузка, повысится энерго- ресурсосбережение, кроме того исключается выпадение формальдегидного осадка в виде хлопьев.

Литература

1. Патент RU 124778 U1 МПК F28B 3/08. Теплообменное устройство вихревого типа. Л.Н. Москалев, С.И. Поникаров, И.И. Поникаров, В.В. Алексеев, 2012;
2. Патент RU 2502929 C1 МПК F28B 3/00. Теплообменное устройство вихревого типа. Л.Н. Москалев, С.И. Поникаров, И.И. Поникаров, В.В. Алексеев, 2013.
3. Москалев, Л.Н. Описание экспериментальной установки для проведения исследований процесса конденсации в контактном вихревом аппарате / Л.Н. Москалев, С.И. Поникаров, И.И. Поникаров // Вестник Казанского технологического университета. - 2011. - № 14. - С. 235.
4. Москалев, Л.Н. Сравнение контактно-вихревого конденсатора с закрученным потоком с поверхностными вихревыми и кожухотрубными конденсаторами / Л.Н. Москалев, С.И. Поникаров, И.И. Поникаров, В.В. Алексеев // Вестник Казанского технологического университета. -2012. - Т. 15. – №3 – С. 228.
5. Ляндзберг, А.Р. Вихревые теплообменники и конденсация в закрученном потоке: монография / А.Р. Ляндзберг, А.С. Латкин. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2004. – 149 с.
6. Таубман, Е.И. Контактные теплообменники / Е.И. Таубман, В.А.Горнев, В.Л. Мельцер и др. – М.: Химия, 1987. – 256 с.
7. Пономаренко, В.С. Градирни промышленных и энергетических предприятий: Справочное пособие / В.С. Пономаренко, Ю.И. Арефьев; под общ. ред. В.С. Пономаренко. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 376 с.
8. Москалев, Л.Н. Применение контактного конденсатора вихревого типа при поглощении метанола и формальдегида из контактного газа / Л.Н. Москалев, С.И. Поникаров // Инженерно-физический журнал. – 2016. - Т.89. - № 5. - С. 1188.

ОСОБЕННОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКОЙ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ ЗМЕЕВИКОВ ПАРООБРАЗОВАНИЯ

Муратаев Фарид Исакович

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н.Туполева, 420111, г. Казань, К. Маркса, 10

Аннотация. Установлены закономерности деградации сталей и сварных соединений элементов змеевиков парообразования в условиях длительного воздействия высокотемпературных топочных газов и перегретого пара в результате химической и электрохимической коррозии. Изменение формы, размеров, разрушение трубки змеевика парообразования вызвано уменьшением

содержания углерода в стали и существенным изменением микроструктуры перегретого металла.

The regularities of degradation of steel and welded joints of elements of coils of vaporization under conditions of prolonged exposure to high temperature flue gases and superheated steam as a result of chemical and electrochemical corrosion. Change the shape, size, destruction of the pipe coil vaporization in connection with the reduction of the carbon content in steel and significant changes in the microstructure of superheated metal.

Ключевые слова: змеевик парообразования, коррозия, деградация стали.

В работе исследованиям подвергается металл разрушенного змеевика парообразования «ЕА- 111» на участках: трубки змеевика с раскрытой трещиной (рис.1), сварные соединения трубки змеевика (ТЗ) с тонкими бандажными дисками (БД рис.2), имеющими на периферии лепестки (Л).

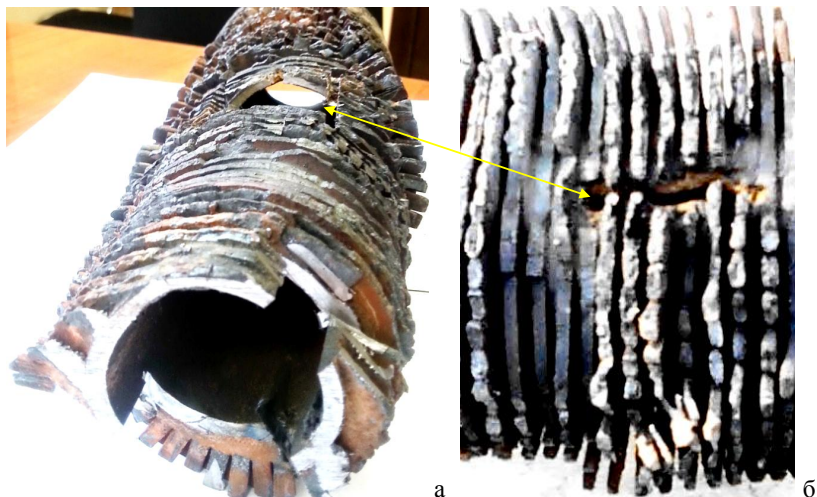


Рис.1 Исследованный змеевик «ЕА- 111» (а) и участок его разрушения (б)

В эксплуатации, поверхности нагрева (лепестки) змеевиков парообразования (ЗП), в сечении - тонкие бандажные диски в виде непрерывной фасонной ленты с лепестками, намотанной и приваренной к трубке ЗП (рис.1) подвергаются интенсивным, длительным температурным воздействиям и могут разрушаться от химической коррозии (недостаточной жаростойкости) в среде топочных газов [1, 2]. Одновременно, внутренняя поверхность трубки ЗП деградирует от электрохимической коррозии в условиях, ускоряющегося интенсивного воздействия пароводяной смеси или уровня температуры перегретого пара в зависимости от степени повреждения (выгорания) лепестков и растрескивания сварных соединений бандажных дисков с трубкой ЗП, а также уровня температуры, действующей на поверхности нагрева [3, 4].

Марка металла трубы соответствует требованиям к отечественному аналогу стали 15кп ГОСТ 1050. Марка металла БК, по составу, соответствует требованиям ГОСТ 1050 к сталям 10кп и 08кп. Марка металла Л (США), по составу, соответствует требованиям ГОСТ 11036 к трансформаторной не легированной стали 10880.

Разрушение змеевика хрупко-вязкое, от тангенциальных напряжений, обусловленных внутренним давлением пароводяной смеси [4, 5], в связи с недостаточной прочностью стенки, подвергнутой интенсивной коррозии (рис.2). Толщина стенки у излома 2,3мм при толщинах у деформированного и не деформированного фрагмента змеевика на торцах, соответственно: 4,5 мм и 5,0мм (рис.1). Разрушение тавровых СС трубки змеевика и БК, не симметричное обгорание элементов поверхностей нагрева (Л) произошли со стороны набегающего потока дымовых газов (судя по цвету окалины металла лепестков при температуре $\geq 700^{\circ}\text{C}$). Отличающийся характер повреждения металла свидетельствует и о неравномерности температурного поля по высоте змеевика.

В эксплуатации змеевика парообразования элементы поверхностей нагрева (Л и БК) подвергаются не допустимым, для данных сталей, температурным воздействиям и разрушаются от химической коррозии (недостаточной жаростойкости) [2, 6].

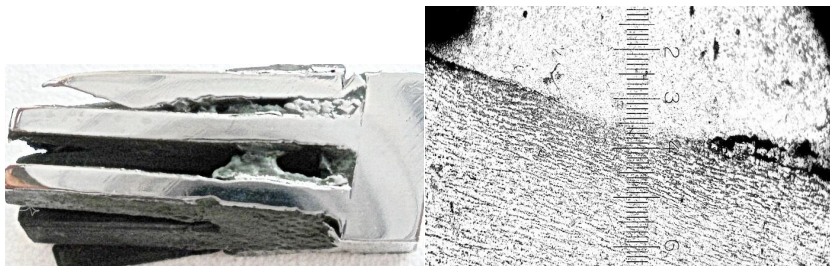


Рис.2 Фрагмент змеевика и структура СС на участке трубка-диск БД

Рис. 2 иллюстрирует микроструктуру фрагментов металла с тавровыми соединениями трубки ЗП и бандажной лены, поврежденных химической коррозией, с вариантами растрескивания металла СС (рис.2 справа). Практически все образцы соединений змеевика имеют трещины. Растрескивание металла по поверхностям плохо проваренного таврового СС трубы и БК (рис.2 слева и рис.3,а), иллюстрирует разрушение соединения разнородных сталей путем их расслоения и дальнейшего растрескивания. Сплошные колонии перлита провоцируют межкристаллитную коррозию на участках аномальной температуры разнородного по составу и структуре металла тавровых стыков (рис.2 справа и рис.3,а).

Из-за агрессивного локального воздействия высокотемпературных топочных газов на трубку ЗП в зоне трещины, в связи с обгоранием и разрушением лепестков поверхностей нагрева, происходит процесс выгорания

углерода в металле и соответствующие этому значительные структурные преобразования. Ферритно-перлитная структура стали менее поврежденных фрагментов металла трубы ЗП на участке образования трещины (рис.3,а), в связи с резким снижением содержания углерода, превратилась в структуру ферритную (рис.3,б). На участке разрушения трубы ЗП (рис.1,б) содержание углерода уменьшилось в 3-5 раз.

В раскрытом изломе трубы ЗП выявлена (как ответвление) поперечная трещина от язвенной и межкристаллитной коррозии (рис.4), где структура сильно обезуглерожена и по фазовому составу имеет 100% феррита. Она сходна со структурой металла, поврежденного лепестка из нелегированной трансформаторной стали, содержит углерод в количестве 0,03...0,05%. Микроструктура металла менее поврежденного участка трубы змеевика, взятого у торца, - феррит + перлит, полосчатая, перлит зернистый соответствует марке стали 15кп.

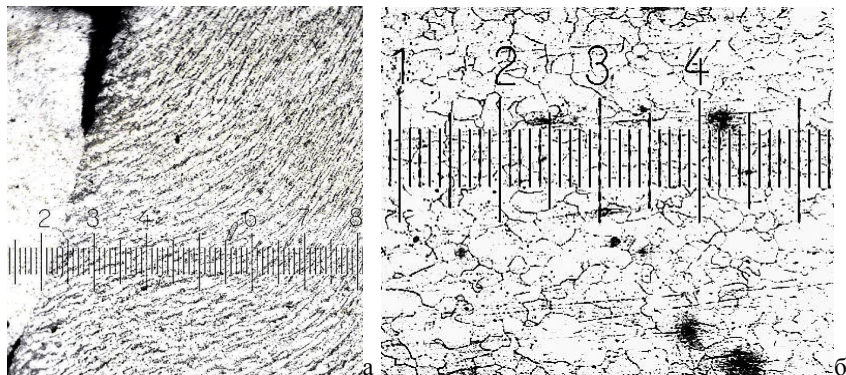


Рис.3 Микроструктуры трубы ЗП у внешней (а) и внутренней (б) поверхн.

Распад перлита на феррит с образованием сплошных включений цементита на границах провоцирует межкристаллитную коррозию сильно разогретой поверхности трубы, ослабленной разрушением бандажных колец. Выявленные процессы деградации конструкции – разрушение лепестков поверхностей нагрева трубы, повреждение сварного соединения, нарушение целостности бандажной ленты и утонение стенки трубы приводят ее к критическому состоянию, не смотря на проектные условия работы. Разрушение оксидных пленок малоуглеродистой стали приводит к ускорению деградации внутренней поверхности и утонению трубы змеевика от электрохимической коррозии.



Рис.4 структура металла трубы ЗП у внутренней поверхности в зоне разрушения

Таким образом, установлено. Состав, структура и свойства металла деградировали. Основной причиной разрушения послужил сильный и неравномерный нагрев внешних поверхностей фрагментов змеевика при температурах $\geq 700^{\circ}\text{C}$, что недопустимо для примененных материалов. Использованные марки кипящей стали с недостаточным количеством легирующих элементов и металл лепестков поверхностей нагрева (практически - техническое железо) не адекватны условиям работы змеевика парообразования.

Литература

1. Пахомов В.С., Шевченко А.А. Химическое сопротивление материалов и защита от коррозии. - М.: Химия. Колос, 2009.-444 с.
2. Ф.И. Муратаев, А.Ф. Муратаев Адаптация состава, структуры, свойств металла и сварных соединений теплообменников к сопротивлению высокотемпературной газовой коррозии // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева, 2015. №3. С.119-125.
3. Горичкий В.М. Диагностика металлов. - М.: Металлургиздат, 2004.-408 с.
4. Муратаев Ф.И., Клабуков М.А., Муратаев А.Ф. Деградация состава и структуры сталей и сварных соединений змеевиков парообразования в условиях химической и электрохимической коррозии.// ISSN 2078-6255. Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева 2016 №4. С. 44-49.
5. Муратаев Ф.И. Типовые и деградационные признаки микроструктуры сварных соединений конструкционных и специальных сталей // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2013. № 2. Вып. 2. С. 84–89.
6. Ф.И. Муратаев, А.Ф. Муратаев Структура и свойства конструкционной стали после длительного перегрева // ISSN 2078-6255. Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева 2016 №3. С. 82-86.

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ РОТОРОВ ВИНТОВОГО КОМПРЕССОРА

Т.Н. Мустафин¹, Р.Р. Якупов¹, М.С. Хамидуллин¹, Л.Х. Уйбекова¹,
О.Ю. Паранина^{1,2}, И.Г. Хисамеев¹

¹ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань, ул. К.Маркса, 68

²Группа ГМС, АО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа», г. Казань, ул. Сибирский тракт, 40

Аннотация. Рассмотрено влияние основных факторов, оказывающих влияние на температурные поля роторов винтового компрессора. Проведены анализ и обоснования полученных результатов.

Abstract. The influence of main factors on the temperature fields of screw compressor rotors has been considered. Analysis and justification of obtained results has been made.

Ключевые слова: винтовой компрессор, температурное поле роторов, рабочий режим.

Потребность различных отраслей промышленности в жатых газах привела к широкому распространению компрессорной техники, сформировав при этом ряд требований, которым должны отвечать современные компрессоры. К числу таких требований в первую очередь относятся надежность, хорошие массогабаритные соотношения, неприхотливости в эксплуатации и хорошие энергетические показатели. В областях средней производительности наиболее оптимальным сочетанием таких параметров обладают винтовые компрессоры, что и обусловило их повсеместное применения как на мобильных, так и на стационарных пневмоустановках и пневмосистемах, на газоперекачивающих станциях, в составе холодильных систем и других компрессорных системах. Во многом их энергетические показатели, а также уровень шума и вибрации компрессора, а, следовательно, отчасти и их надежность, будут определяться величинами профильных зазоров между роторами. Данные зазоры возникают вследствие занижения действительных профилей роторов (или только одного из пары роторов, как правило, ведомого ротора) с целью компенсации погрешностей изготовления, а также температурных деформаций и силовых прогибов роторов, возникающих на рабочих режимах. Они определяют производительность и КПД компрессора.

Тепловая нагрузка на роторы компрессора носит циклический характер. Однако период одного цикла достаточно короток, вследствие чего температурное поле ротора во времени практически не меняется. Последний тезис подтверждается и исследованиями, представленными в работе [3, 6].

Тогда тепловое состояние роторов определяется стационарным уравнением теплопроводности [1,2,3]:

$$\nabla^2 T = 0. \quad (1)$$

Граничные условия для уравнения (1) определяется расчетной схемой (рис 1), исходя из равенства $\lambda_M \frac{\partial T}{\partial n} = q$, λ_M - теплопроводность материала роторов, где $\frac{\partial T}{\partial n}$ - производная по нормали к поверхностям ротора на которую воздействует тепловой поток q . При этом следует разделять теплопритоки от теплообмена газо-масляной среды с поверхностью роторов в рабочей полости, от теплообмена торцевых поверхностей роторов с газо-масляной средой в полостях всасывания через торцевые поверхности всасывающего и нагнетательного окон, теплоприток от трения роторов о газо-масляную среду в торцевых и радиальных зазорах, а также теплоприток по участкам вала от подшипников.

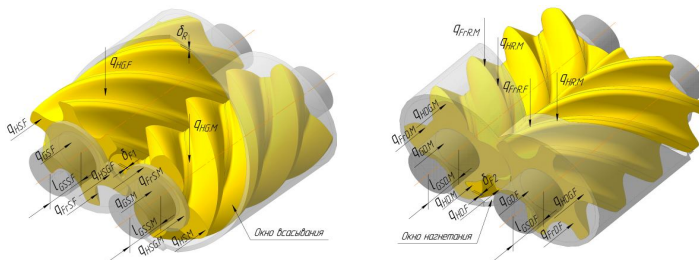


Рис 1. Расчетная схема для определения граничных условий

Расчетная модель температурных полей была использована применительно к воздушному винтовому компрессору с асимметричным профилем СКБК 6-ой базы, который характеризуется следующими параметрами: диаметр роторов 250 мм, длина профильной части роторов 340 мм, шаг винтов 440 мм и 660 мм для ведущего и ведомого роторов соответственно и передаточным отношением 4/6. Для всех представленных вариантов расчета принимались следующие исходные данные: для торцевых зазоров между ротором и корпусом приняты следующие величины; со стороны всасывания – 0,5 мм, со стороны нагнетания – 0,06 мм; в качестве радиального зазора принят величина – 0,2 мм; температурой всасывания 293,15 К (20 °С), температурой впрыскиваемого масла 343,15 К (70 °С), газо-масляное отношение - 3.9 и геометрической степенью сжатия - 4,5.

Пример расчета температурных полей роторов, представлен на рисунке 2. Результаты расчетов температурных полей показывают, что наибольшему прогреву подвержены радиальные вершины роторов в радиальном зазоре. При этом следует отметить тот факт, что температура газо-масляной среды на всасывании ниже, а, следовательно, ее вязкость значительно выше, и как следствие теплота трения в зазоре тоже выше. Этим объясняется более высокая температура роторов в корпусе без окна всасывания на радиальной расточке корпуса. К аналогичным выводам можно прийти и анализируя влияния

геометрической степени сжатия компрессора на температурные поля роторов. Ее влияние сказывается не только через изменение температуры сжимаемой среды, но также она определяет размеры окна нагнетания. Большая геометрическая степень сжатия достигается меньшими размерами окна нагнетания, а, следовательно, приводит и к большему трению торцевых поверхностей ротора о газо-масляную смесь на стороне нагнетания. Последние приводит к дополнительному подогреву торцов роторов на стороне нагнетания.

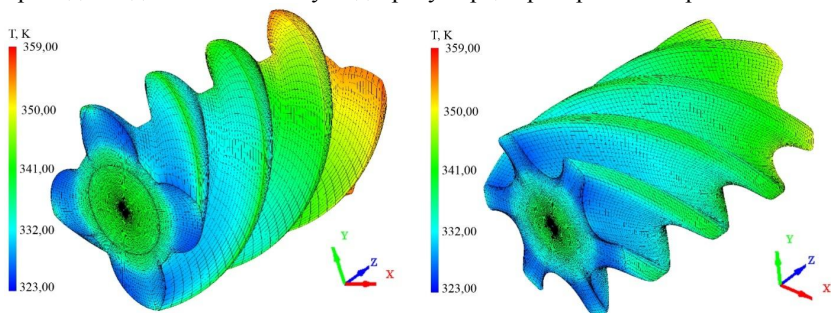


Рис 2. Расчетные температурные поля роторов.

Влияние величин торцевых и радиальных зазоров на температурные поля роторов определяется через тепловые потоки от трения обратно пропорциональны величинам данных зазоров при прочих равных условиях. В действительности уменьшение зазора приводит к возрастанию температуры газо-масляной смеси в зазоре и, как следствие, к снижению ее вязкости. Таким образом, с уменьшением зазора теплота трения увеличивается, но ее рост имеет нелинейный характер.

Влияние режимных параметров на температурные поля роторов представлены сказывается в основном через температуру газа в рабочих полостях. Этим объясняется большой градиент температур между торцами всасывания и нагнетания роторов на режимах с большими отношениями давлений. Снижение скорости вращения роторов приводит к выравниванию температуры роторов в различных торцевых сечениях, но в тоже время, общая температура ротора возрастает. Это можно объяснить тем, что со снижением частоты вращения роторов повышается температура сжимаемого газа в рабочих полостях, а также уменьшается трение роторов о газо-масляную смесь в зазорах.

Изменение количества и температуры впрыскиваемого масла сказывается не только на температуре сжимаемой среды в рабочей полости но и на ее вязкости. Последняя, как отмечалось выше, сильно сказывается на теплоте трения в зазорах, и, как следствие, оказывает влияние на неравномерность температурные поля роторов в торцевых сечениях. Меньшее количество впрыскивания масла приводит к уменьшению температуры газа на стороне всасывания и к росту температуры нагнетания, что приводит к росту градиента температур в роторе между торцами всасывания и нагнетания. Увеличение

количества впрыска масла приводит к снижению температуры нагнетания и приросту температуры газа на стороне всасывания. При этом дальнейшее увеличение количества впрыска не приводит к существенному снижению температуры нагнетания, в тоже время несколько повышая температуры газа на стороне всасывания из-за начальной температуры впрыскиваемого масла. Это приводит к большему выравниванию температурного поля по всему ротору.

Литература

1. T.N. Mustafin, R.R. Yakupov, A.V. Burmistrov, M.S. Khamidullin, I.G. Khisameev Analysis of the screw compressor rotors' non-uniform thermal field effect on transmission error IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 90 (2015)

2. T.N. Mustafin and etc. Analysis of Influence of Screw Compressor Construction Parameters and Working Condition on Rotor Temperature Fields Procedia Engineering Volume 152, 2016

3. Т.Н. Мустафин, Р.Р. Якупов, Л.Х. Уйбекова, М.С. Хамидуллин, И.Г.Хисамеев., Расчет температурных полей роторов винтового компрессора// Компрессорная техника и пневматика. - 2017 г. - №4 – с.22-27.

ВАКУУМНОЕ ДЕГИДРИРОВАНИЕ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ В ХИМИЧЕСКОЙ И НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Назаров А.А., Поникаров С.И., Петлин К.А.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
Высшего образования Казанский национально исследовательский
технологический университет, 420015, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68

Аннотация. Рассмотрен принцип работы экспериментальной установки вакуумного дегидрирования. Приведены результаты исследования гидро-, газодинамических и теплообменных процессов в установке.

Annotation. The operating principle of the experimental vacuum dehydrogenation plant is considered. The results of the study of hydro-, gas-dynamic and heat-exchange processes in the installation are presented.

Ключевые слова: дегидрирование, гидро-, газодинамический и теплообменный процесс, экспериментальная установка вакуумного дегидрирования, математическая модель.

Одной из важнейших реакций, протекающих в процессах вторичной нефтепереработки, являются реакции дегидрирования углеводородного сырья. Данный процесс применяется для получения, как целевых продуктов, так и углеводородов более активно вступающих в иные реакции.

В современном нефтехимическом производстве процесс дегидрирования углеводородного сырья проводится при высоких температурах в присутствии

водяного пара, который позволяет снизить парциальное давление исходных продуктов, для предотвращения их термической деструкции и увеличения степени конверсии сырья, но в то же время, этот процесс, несет собой дополнительные экономические затраты на подготовку водяного пара. Применение вакуума позволяет исключить применение водяного пара, а так же повысить селективность и степень конверсии, что позволяет снизить себестоимость продукции за счет снижения затрат на подготовку водяного пара и исключение сложного теплотехнического оборудования из технологической линии[1].

На базе кафедры МАХП создана экспериментальная установка вакуумного дегидрирования (рис. 1), которая позволяет исследовать влияние вакуума на глубину и степень конверсии углеводородного сырья в процессах дегидрирования углеводородов.

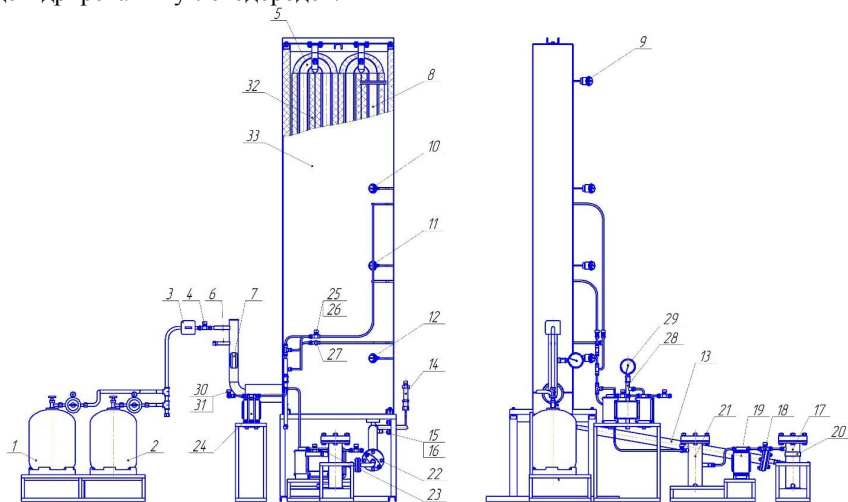


Рис. 1. Схема экспериментальной установки исследования вакуумного дегидрирования углеводородного сырья.

1 – баллон с исходным сырьем; 2 – баллон с инертным газом; 3 – счетчик газовый; 4 – вакуумный натекатель; 5 – греющая камера; 6 – дополнительный патрубков; 7 – показывающий вакуумметр; 8 – реакционная камера; 9, 10, 11, 12 – термопары; 13- теплообменник; 14 – электронный датчик давления; 15, 16 – патрубки теплообменника для холодного теплоносителя; 17 – конденсатосборник №1; 18 – вентиль на входе в вакуум насос; 19 – вакуум насос; 20 – показывающий вакуумметр / термопара; 21 –конденсатосборник №2; 22 – вентиль; 23 – вентиль пробоотборной линии; 24 –вакуум насос; 25 – вентиль пробоотборной линии; 26 – вентиль пробоотборной линии; 27- вентиль пробоотборной линии; 28 – конденсатосборник №3; 29 – показывающий вакуумметр; 30 –вентиль; 31-вентиль; 32 – теплоизоляция; 33 – саркофаг.

Принцип работы установки заключается в следующем: Воздух поступает через электронный газовый счетчик 3 и вакуумный натекатель 4 в греющую камеру 5. Греющая камера 5 представляет собой зигзагообразную систему труб последовательно сваренных между собой. Нагрев осуществляется с помощью нихромовой проволоки спирально обмотанной вокруг нагревательных труб, защищенной от прямого контакта с металлом керамическими бусами. Электрическое напряжение подается на обмотки через лабораторный автотрансформатор. Нагретый воздух поступает в реакционную камеру 8 и проходит через слой катализатора, расположенного внутри. Нагрев реакционной камеры осуществляется с помощью нихромовой проволоки, спирально обмотанной вокруг нее и защищенной от прямого контакта с металлом керамическими бусами, для поддержания необходимой температуры в реакционной зоне поскольку исследуемые реакции протекают с поглощением тепла. Электрическое напряжение подается на обмотки через лабораторный автотрансформатор. Температура греющей камеры измеряется по 9 контрольно-измерительным точкам (рис. 2). Температура на выходе из греющей камеры измеряется при помощи термомпары 9 а в реакционной камере с помощью аналогичных термомпар 10, 11 и 12. После прохождения слоя катализатора, воздух поступает в теплообменник 13. На входе в теплообменник после реакционной камеры в U-образном отводе установлен электронный датчик давления 14. Холодным теплоносителем является водопроводная вода, поступающая и выходящая из патрубков 15 и 16, соответственно. После теплообменника воздух поступает в конденсаторосборник №1 17, после которого установлен безмасляный мембранный вакуум насос 19. На конденсаторосборнике №1 приварена дополнительная бобышка для присоединения при необходимости термомпары или показывающего вакуумметра 20 для контроля разряжения на входе в вакуумный насос. Регулирование производительности насоса осуществляется установкой непосредственно перед входом в насос многооборотного вентиля 18, а также установкой натекателя 4 на входе в греющую камеру. После вакуумного насоса 19 воздух поступает в конденсаторосборник №2 21. На выходе из конденсаторосборника №2 установлен двойник, к которому присоединены многооборотные вентили 22 и 23, позволяющие целенаправленно ориентировать направление потока продуктов реакции. Отбор проб происходит за счет создания в пробоотборной вакуумной линии более низкого разряжения при помощи вакуум насоса 24. Пробы отбираются на выходе из вакуум насоса 24. Точки врезки трех мест взятия проб из реакционной камеры соединяются с вакуум насосом через рилсановые трубки, вентили 25, 26 и 27, конденсаторосборник №3 28. В верхней части конденсаторосборника №3 установлен показывающий вакуумметр 29. На выходе из вакуум насоса установлен двойник с вентилями 30 и 31.[2]

На вышеуказанной установке вакуумного дегидрирования проводились исследования гидро-, газодинамических и теплообменных процессов, в качестве рабочей газовой среды использовалась окружающая воздушная смесь (воздух в сухом отапливаемом помещении при нормальных условиях).

Цель проведения исследования заключается в подтверждение экспериментом математической модели гидро-, газодинамики и теплообменных процессов в установке вакуумного дегидрирования, в программном комплексе ANSYS CFX, что в последствие позволит дополнить математическую модель моделями, учитывающими химические превращения, для исследований процессов дегидрирования, и проверить соответствие этих моделей натурному эксперименту. В дальнейшем это позволит использовать полную математическую модель для расчета в программном комплексе ANSYS CFX установок и процессов дегидрирования различных углеводородов, без проведения натурных экспериментов и для модернизации существующих установок на предприятиях.

Методика проведения эксперимента исследования гидро-, газодинамических и теплообменных процессов на установке вакуумного дегидрирования заключается в следующем:

1. Закрывают вентили пробоотборной линии 23, 25, 26, 27.
2. Открывают вентиль 22.
3. Открывают вентиль на входе в вакуум насос 18.
4. Подают начальное напряжение, равное 50 В, на нагревательную обмотку греющей камеры 5.
5. Включают вакуум насос 19.
6. Регулировкой натекателя 4 задают начальное давление на выходе из реакционной камеры в диапазоне 5-10 кПа по электронному датчику давления 14.
7. Производится выдержка по времени до тех пор, пока температура на выходе из греющей камеры по показаниям термопары 9 будет увеличиваться не более 1°C в течении 60 минут (при такой временной выдержке процесс можно считать стационарным). Выход установки на условно стационарный режим показан на рисунке 2.

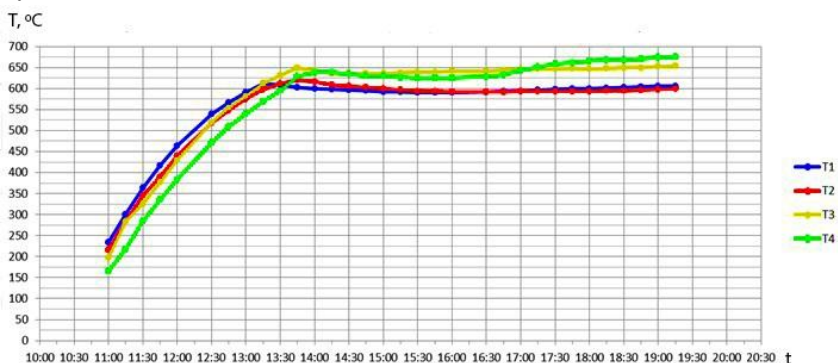


Рисунок 2. График зависимости температуры в ядре потока газовой смеси на выходе из греющей камеры и в реакционной камере от времени (выход экспериментальной установки вакуумного дегидрирования в условно

стационарный режим). T_1, T_2, T_3, T_4 – температуры замеренные в ядре потока реакционной и греющей камер в термопарах 9, 10, 11, 12 соответственно.

8. Фиксируется временной интервал, за который через газовый счетчик 3 протекает $0,01 \text{ м}^3$, а также начальные и конечные значения показаний газового счетчика.

9. Фиксируется давление на входе в греющую камеру по показывающему вакуумметру 7 и давление на выходе из реакционной камеры по электронному датчику давления 14.

10. Фиксируются значения температур по термопарам 9, 10, 11, 12.

11. При помощи термопары типа К, состоящей из хромеля и алюминия, измеряется температура стенки у греющей и реакционной камер в нескольких точках, указанных на рис. 3

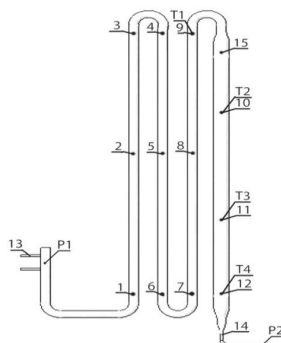


Рисунок 3. Расположение контрольно-измерительных точек замера температур стенок установки и температур в ядре газового потока на выходе из греющей камеры и в реакционной камере, а также давлений на установке вакуумного дегидрирования. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 – точки замера температуры на стенке греющей камеры; 10, 11, 12, - точки замера температуры на стенке реакционной камеры; 14 – точка замера температуры стенки на выходе из реакционной камеры; 15 – точка замера температуры стенки на входе в реакционную камеру; T_1, T_2, T_3, T_4 – температуры в ядре потока измеренные термопарами; P_1 , - давление на входе в греющую камеру; P_2 –давление на выходе из реакционной камеры.

12. Фиксируются значения напряжения, силы тока, подаваемых на обмотку греющей камеры с автоматического трансформатора и активное электрическое сопротивление обмотки греющей камеры.

13. При помощи натекателя 4 увеличивают давление на выходе из реакционной камеры на значение порядка 5 кПа по электронному датчику давления 14.

14. Повторяют пункты 7- 13 до достижения значения давления на выходе из реакционной камеры порядка 25 кПа по электронному датчику давления 14.

15. Увеличивают напряжение, подаваемое на нагревательную обмотку греющей камеры 5, до изменения значений температур на 50-100 °С.

16. Повторяют пункты 6 - 15 до достижения значения напряжения, подаваемого на нагревательную обмотку греющей камеры, до температуры при которой происходят реакции дегидрирования, что соответствует 500-700 °С.

17. Производят остановку экспериментальной установки.

В результате проведенных экспериментов были получены следующие результаты (номера термопар, точек замера стенок и давлений соответствуют позициям на рис. 3):

| Эксперимент, № | Термопары, измеряющие температуру в ядре газового потока на выходе из греющей камеры и в реакционной камере | | | | Напряжение на выходе из трансформаторов, подключенных к обмоткам греющей и реакционной камер. | | Давление на входе и выходе из экспериментальной установки | | Расход | |
|----------------|---|--------|--------|--------|---|-----------|---|---------|--------|--------|
| | T1, °С | T2, °С | T3, °С | T4, °С | Латр ГК, В | ЛатрРК, В | P1, кПа | P2, кПа | V, м3 | t, сек |
| 1 | 359 | 355 | 403 | 426 | 85 | 144 | 44,5 | 43,5 | 0,1 | 125 |
| 2 | 380 | 367 | 428 | 412 | 85 | 144 | 25,5 | 22,5 | 0,12 | 367 |
| 3 | 422 | 399 | 421 | 436 | 110 (100) | 144 (125) | 57 | 52,5 | 0,2 | 182,8 |
| 4 | 460 | 437 | 464 | 483 | 120 (113) | 162 (136) | 57,5 | 51,5 | 0,15 | 136,5 |
| 5 | 486 | 455 | 486 | 510 | 120 (112) | 162 (136) | 50 | 44 | 0,1 | 112,1 |
| 6 | 498 | 453 | 497 | 503 | 120 (113) | 162 (136) | 36 | 31 | 0,1 | 191,1 |
| 7 | 367 | 352 | 382 | 401 | 100 (94) | 144 (122) | 57,5 | 54 | 0,22 | 198,2 |
| 8 | 383 | 372 | 430 | 436 | 85 (80) | 144 (120) | 35,5 | 32 | 0,1 | 196,9 |
| 9 | 314 | 317 | 358 | 383 | 85 (82) | 144 (123) | 58 | 54 | 0,1 | 91,58 |
| 10 | 331 | 329 | 368 | 392 | 90 (86) | 144 (122) | 58 | 54,5 | 0,1 | 89,17 |

Таблица 1. Результаты замера значений температуры, напряжений, давления и расхода

Латр ГК, РК - лабораторный автотрансформатор на греющей и реакционной камере соответственно; V- объем воздуха, втекающий в аппарат за время t.

| Эксперимент, № | Температура стенок в контрольно-измерительных точках замера температур на установке вакуумного дегидрирования, °С | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 1 | 120 | 246 | 284 | 276 | 325 | 309 | 313 | 391 | 355 | 367 | 402 | 391 | 23 | 200 | 368 |
| 2 | 162 | 294 | 396 | 338 | 372 | 335 | 332 | 417 | 369 | 370 | 426 | 377 | 24 | 196 | 374 |
| 3 | 173 | 299 | 345 | 329 | 381 | 362 | 369 | 455 | 420 | 394 | 418 | 408 | 24 | 258 | 404 |
| 4 | 173 | 320 | 376 | 360 | 439 | 401 | 406 | 492 | 452 | 431 | 452 | 450 | 23 | 275 | 440 |
| 5 | 216 | 350 | 406 | 396 | 474 | 433 | 436 | 534 | 482 | 449 | 482 | 481 | 23* | 221 | 459 |
| 6 | 230 | 406 | 443 | 442 | 510 | 445 | 454 | 549 | 486 | 447 | 490 | 474 | 24 | 218 | 458 |
| 7 | 126 | 255 | 297 | 282 | 319 | 311 | 320 | 393 | 370 | 350 | 387 | 384 | 23 | 219 | 366 |
| 8 | 148 | 278 | 321 | 322 | 361 | 329 | 337 | 416 | 375 | 381 | 427 | 410 | 22 | 211 | 389 |
| 9 | 103 | 216 | 252 | 238 | 295 | 275 | 274 | 338 | 321 | 321 | 364 | 366 | 24 | 223 | 336 |
| 10 | 118 | 200 | 266 | 251 | 276 | 289 | 283 | 364 | 342 | 339 | 375 | 371 | 24 | 200 | 343 |

Таблица 2. Результаты замера температур на стенке.

Полученные результаты будут использованы для апробации математической модели гидро-, газодинамики и теплообменных процессов дегидрирования с использованием программного комплекса ANSYS CFX, что в дальнейшем позволит производить исследование химических превращений в процессах дегидрирования в установке вакуумного дегидрирования в программном комплексе ANSYS CFX с последующей верификацией экспериментальными данными. В дальнейшем это позволит использовать математические полные модели для различных установок и процессов дегидрирования различных углеводородов, без проведения натуральных экспериментов и для модернизации существующих установок на предприятиях.

Литература

1. Назаров А.А., Поникаров С.И., Конаков А.С. Приоритетные направления применения вакуума в технологиях дегидрирования углеводородного сырья / А.А. Назаров, С.И. Поникаров, А.С. Конаков // Вестник технологического университета / 2013. № 20. С. 262-264.
2. Петров Д.Н., Назаров А.А., Поникаров С.И. Экспериментальная установка исследования процессов дегидрирования углеводородного сырья под вакуумом / Д.Н. Петров, А.А. Назаров, С.И. Поникаров // Вестник технологического университета / 2015. №19. С. 64-66.

КОМБИНИРОВАННАЯ ВАКУУМСОЗДАЮЩАЯ СИСТЕМА (ВСС) НА БАЗЕ ЖИДКОСТНО-КОЛЬЦЕВОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА

Осипов Э.В., Теляков Э.Ш.

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
420015, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68.

Аннотация. Рассмотрена комбинированная вакуумсоздающая система (ВСС) на базе жидкостно-кольцевого вакуумного насоса (ЖКВН) и предвключенного парового эжектора. Представлено сравнение по эксплуатационным затратам с наиболее распространенными типами ВСС.

Abstract. The combined vacuum system (VCS) based on the liquid-ring vacuum pump (LRVP) and the steam ejector is considered. The comparison is made of the operating costs with the most common types of VCS.

Ключевые слова. Вакуумсоздающая система, жидкостно-кольцевой вакуумный насос, паровой эжектор.

На сегодняшний день широкое распространение получили процессы, проводимые под вакуумом (ректификация, сушка и т.д.). Это связано с тем, что зачастую эксплуатационные затраты на проведение технологического процесса под вакуумом зачастую ниже, чем при нормальном давлении, а качество

продукции – выше. Кроме того, некоторые процессы (например, разделение мазута) не могут проводиться при атмосферном давлении, так начинается термическое разложение исходного сырья, что недопустимо по нормам ведения технологического процесса.

Наибольшее распространение в качестве систем создания вакуума в технологических установках получили следующие типы ВСС: парэжекторные вакуумные насосы (ПЭНы) и вакуумные гидроциркуляционные агрегаты (ВГЦА). ПЭНы характеризуются большим потреблением высокопотенциальных энергоресурсов (водяной пар) и наличием химически загрязненных стоков, которые образуются при смешении откачиваемой смеси и рабочего пара в паровых эжекторах. В системах на базе ВГЦА рабочим телом является дистиллятный продукт вакуумной колонны, который центробежным насосом под давлением 6-10 МПа подается в сопла жидкостного эжектора. В наиболее совершенных жидкостных эжекторах КПД не превышает 35%, что приводит к значительному расходу электроэнергии, затрачиваемой приводом насоса подачи рабочей жидкости. Кроме того, рабочая жидкость в процессе функционирования системы теряет свои свойства, следовательно для устойчивой работы ВСС необходимо укомплектовать ВСС системой очистки рабочей жидкости.

Поэтому разработка энергоэффективной ВСС, которая характеризуется минимальным потреблением энергоресурсов, является актуальной задачей. Авторы статьи предлагают следующее решение данной проблемы.

Принцип технологии [1]: предлагаемая ВСС представляет собой комбинацию первой ступени парэжекторного насоса с жидкостно-кольцевым вакуумным насосом (ЖКВН). При повышении давления откачиваемых газов в паровом эжекторе позволяет повысить глубину конденсации водяных паров в холодильнике-конденсаторе. Несконденсированная парогазовая фаза из холодильника в этом случае откачивается ЖКВН, в котором в качестве рабочей жидкости используется или фракция легкого вакуумного дистиллята, или фракция дизельного топлива. Газожидкостная смесь из ЖКВН сбрасывается в 3-х фазный сепаратор, из которого отводятся несконденсированная газовая фаза (на факел или на утилизацию); сконденсированная углеводородная фаза (возвращается в технологический процесс); сконденсированная водная фаза. В зависимости от расхода откачиваемой смеси паровой эжектор может быть заменён вакуумным насосом Рутса.

В качестве рабочей жидкости ЖКВН может использоваться рециркулирующая углеводородная фаза из 3-х фазного сепаратора.

Принципиальная схема ВСС представлена на рис. 1.

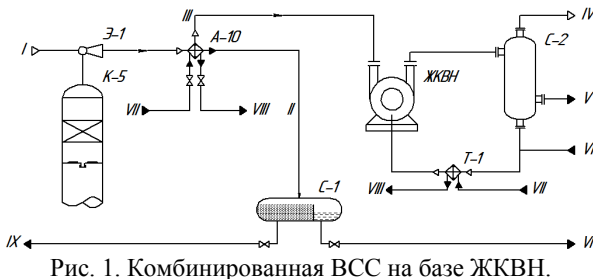


Рис. 1. Комбинированная ВСС на базе ЖКВН.

Для рис. 1 приняты следующие обозначения: К-5 – вакуумная колонна; Э-1 – паровой эжектор; С-1 – сепаратор; А-10 – вакуумный конденсатор. Обозначения потоков: I – рабочее тело, II – конденсат, III – несконденсированная ПГС, IV – сбросный газ (выхлоп), V – углеводородная фаза (балансовый избыток), VI – углеводородная фаза (рабочая жидкость), VII и VIII – свежая и отработанная охлаждающая вода соответственно, IX – водная фаза (конденсат).

Конструктивно комбинированная ВСС состоит из следующих элементов:

- Паровой эжектор – предназначен для предварительного сжатия смеси;
- Конденсатор – конденсация рабочего агента и части откачиваемой смеси;
- ЖКВН – окончательное дожатие откачиваемой смеси.

На рис. 2 представлен общий вид установки.

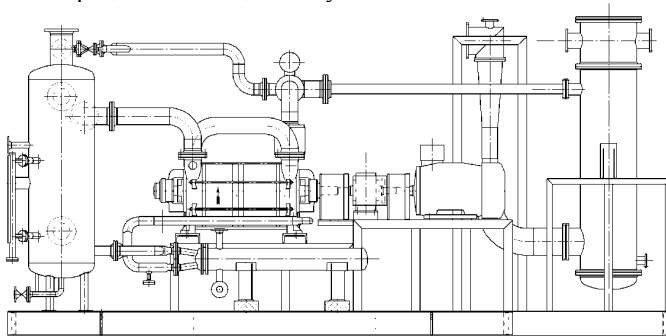


Рис. 2. Общий вид установки

Для оценки эксплуатационной эффективности анализируемых систем создания и поддержания вакуума был проведен расчет затрат, необходимых для откачки 1000 кг/час ПГС, отходящей с верха вакуумной колонны АВТ, при создании давления в верну колонны равного 25 мм Нг. Состав ПГС (% масс.): водяные пары – 77; тяжелые (конденсирующиеся) углеводороды – 17, неконденсирующиеся газы (разложения и натекания) – 6. Результаты анализа сведены в таблицу:

Табл. 1. Сравнение различных типов ВСС по эксплуатационным затратам

| № п/п | Показатель | Размерность | Тип ВСС | | |
|---------------------------------|---|-------------|-------------|------------|---------------------|
| | | | ПЭН | ВГЦА | Комбинированная ВСС |
| 1 | Расход ПГС | кг/час | 1000 | 1000 | 1000 |
| 2 | Давление всасывания | мм рт. ст | 25 | 25 | 25 |
| 3 | Расход электроэнергии | кВт-ч | 0 | 200 | 30 |
| 4 | Расход водяного пара (P=1 МПа, T=200°C) | (кг/час) | 2800 | 0 | 800 |
| 5 | Расход водяного пара (P=1 МПа, T=200°C) | Гкал/час | 1,890 | 0,000 | 0,540 |
| 6 | Расход оборотной воды | м3/час | 300 | 48,035 | 20 |
| Цены энергоресурсов | | | | | |
| 7 | Пар | руб/гкал | 650 | | |
| 8 | Оборотная вода | руб/гкал | 460 | | |
| 9 | Электричество | руб/кВт | 3,39 | | |
| Эксплуатационные затраты | | | | | |
| 10 | Пар | руб/час | 1228,5 | 0 | 351 |
| 11 | Оборотная вода | руб/час | 1377,309 | 235,06 | 4,6 |
| 12 | Электричество | руб/час | 0 | 678 | 101,7 |
| 13 | Общие затраты | руб/час | 2605,809 | 913,06 | 457,3 |
| 14 | Относительно ПЭНа | % | 100% | 35% | 18% |

Если принять в качестве базового проекта ВСС на базе ПЭНа, то при использовании ВСС на базе ЖКВН снижение эксплуатационных затрат составит 82%.

Предлагаемая ВСС в настоящее время успешно эксплуатируются за заводе «Бисфенол А» [2] в цехе 403-406 с 2008 по настоящее время.

Литература

1. Осипов Э.В. Энергосберегающая технология создания вакуума в ректификационной колонне установки АВТ / Э.В. Осипов, С.И. Поникаров, Э.Ш. Теляков и [др.] // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. - 2011. -№12. -С. 31-35.

2. Осипов Э.В. Реконструкция вакуумсоздающих систем отделения переработки отходов производства фенола-ацетона / Э.В. Осипов, С.И. Поникаров, Э.Ш. Теляков и [др.] // Вестник Казан. технол. ун-та. -2011. -№18.-С. 193-201.

ВИНТОВАЯ МОДУЛЬНАЯ КОМПРЕССОРНАЯ УСТАНОВКА ТАКАТ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СИСТЕМАХ КОМПРИМИРОВАНИЯ НА СКВАЖИНАХ С ПОНИЖАЮЩИМСЯ ДЕБЕТОМ ПАО «ГАЗПРОМ»

Юрий Александрович Паранин,
Альберт Фаритович Хабеев,
Шамиль Шакурьянович Биктимеров,
Виктор Николаевич Налимов,
Линар Бархатович Минязев

(АО «НИИТурбокомпрессор им. В.Б.Шнеппа, Группа ГМС,
420029, г.Казань, ул.Сибирский тракт, д.40),

Андрей Николаевич Ефимов
(ООО «Газпром добыча Ямбург», Российская Федерация, ЯНАО,
629306, г. Новый Уренгой, ул. Геологоразведчиков, д.9)

В статье описана модульная компрессорная установка (МКУ) на базе винтового маслозаполненного компрессора, изготовленная в рамках программы импортозамещения. МКУ применяется в технологии распределенного компримирования на газоконденсатных месторождениях с понижающимся дебетом скважин. Отмечается, что неподготовленный газ содержит пластовую жидкость. Приводятся технические характеристики установки, особенности технологической схемы, конструкции установки, преимущества и перспективы применения установки.

The article describes a modular compressor unit (MCU) based on a screw oil-filled compressor, manufactured as part of the import substitution program. MCU is used in the technology of distributed compression at gas condensate fields with decreasing wells' debit. It is noted that unprepared gas contains formation fluid. The technical characteristics of the plant, the features of the technological scheme, the design of the installation, the advantages and prospects of the installation are given.

Ключевые слова: модульная компрессорная установка, винтовой маслозаполненный компрессор; технология распределенного компримирования; понижающий дебет скважин; основные преимущества и перспективы.

С целью выполнения программы по импортозамещению ПАО «Газпром», в 2016г. «АО НИИТурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа» приступило к разработке модульной компрессорной установки (МКУ) для эксплуатации в технологии распределенного компримирования нефтегазоконденсатных месторождений на базе винтового маслозаполненного компрессора. По замыслу Заказчика данная установка должна была стать отечественным аналогом зарубежных установок уже эксплуатирующихся в ПАО «Газпром».

Технология распределенного компримирования (рис.1) относится к месторождениям, переходящим в завершающую стадию разработки, которая

характеризуется снижением пластового давления, ростом обводненного фонда и как следствие общим падением объемов добычи газа. При реализации технологии распределенного компримирования существует возможность вывода скважин из бездействующего фонда.

Целью внедрения технологии распределенного компримирования являются недопущение потери газовых скважин при снижении устьевого давления и дебета скважин с их последующим самозадавливанием по мере выработки месторождения.

Задачами распределенного компримирования являются: повышение давления в шлейфах для поддержания требуемого давления газа на входе в ДКС; обеспечение требуемого расхода газа со скважин; повышение температуры газа в шлейфах; обеспечение дальнейшей эксплуатации, как собственно скважин, так и газосборной системы в целом; сохранение существующей ДКС.

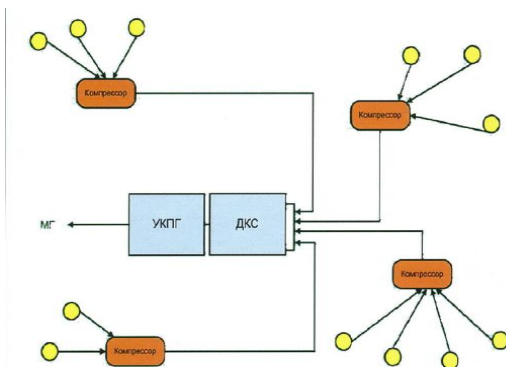


Рис.1. Принципиальная схема технологии распределенного компримирования:
 ДКС - дожимная компрессорная станция; УКПГ – установка комплексной подготовки газа; МГ – магистральный газопровод

ОАО «Казанькомпрессормаш» по документации, разработанной АО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа», в 2017 году изготовило опытный образец МКУ на куст газовых скважин (КГС) №611 (7 скважин) Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения ООО «Газпром добыча Ямбург». В октябре этого же года МКУ успешно прошла 1 этап испытаний (72-х часовые). В настоящее время (ноябрь 2017 г.) установка проходит 2 этап испытаний, который заключается в безостановочной эксплуатации в течение 5000 ч.

Назначение МКУ – повышение давления неподготовленного газа, поступающего с куста газовых скважин № 611 (7 скважин), в шлейфах газосборной сети Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения и на других объектах ПАО «Газпром» и обеспечить необходимые характеристики по прогнозированной добыче газа КГС (рис.2).

Технические характеристики МКУ представлены в таблице 1.

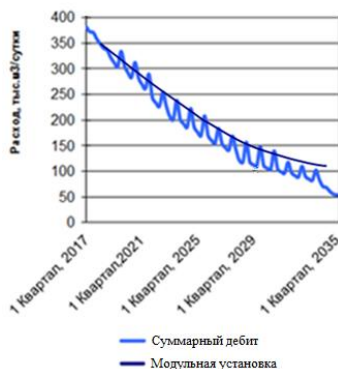


Рис.2. Прогнозируемые добыча КГС

Таблица 1. Технические характеристики МКУ ТАКАТ 78.2-7 М3а ХЛ1

| Наименование параметра | Значение | | |
|--|--|-------------------|--------------------|
| | Минимальный режим | Номинальный режим | Максимальный режим |
| Объемная производительность, приведенная к нормальным условиям, (P=0,1013МПа, T =0°C), $\text{нм}^3/\text{ч}$ | 3233 | 12788 | 14124 |
| Объемная производительность, приведенная к условиям всасывания, (P _{вс} =0,18МПа, T _{вс} =10°C), $\text{м}^3/\text{мин}$ | 27,79 | 78,53 | 73,58 |
| Давление начальное, МПа ($\text{кгс}/\text{см}^2$) | 0,1 (1,0) | 0,18 (1,8) | 0,23 (2,3) |
| Температура газа начальная, °C | от минус 10 до плюс 10 | | |
| Давление конечное, МПа ($\text{кгс}/\text{см}^2$) | 0,55 (5,5) | 0,55 (5,5) | 0,7 (7,0) |
| Температура газа конечная, °C: – зимнее время года – летнее время года | 20 не выше 10 градусов от температуры окружающей среды | | |
| Мощность потребляемая, кВт | 240,9 | 597,1 | 734,7 |
| Безвозвратные потери масла с газом, $\text{мг}/\text{м}^3$, не более | 3 | | |
| Система смазки | Общая (модификация «М3») | | |
| Регулирование производительности | Золотниковым регулятором компрессора от 100 до 20% (модификация – «а») | | |

МКУ представляет собой совокупность модулей, объединенных между собой технологическими трубопроводами, включая площадки обслуживания, фасонные изделия, арматуру, межблочные линии связи на площадке МКУ и для подключения к внешним коммуникациям. Установка предназначена для эксплуатации на открытых площадках и поставляется в максимальной заводской готовности, что сокращает сроки ввода объектов в эксплуатацию, устанавливается на открытой площадке и не требует наличия массивных фундаментов. В конструкции МКУ применяется оборудование отечественного производства поставщиков, входящих в реестр ПАО «Газпром». Состав МКУ с массогабаритными характеристиками представлен в таблице 2.

Таблица 2. Состав МКУ и массогабаритные характеристики

| № п.п. | Наименование | Габариты (ДхШхВ), м | Масса, т |
|--------|------------------------------------|---------------------|----------|
| 1. | Блок сепарации (БС) | 12,5 x 3,0 x 3,5 | 30 |
| 2. | Блок компрессорного агрегата (БКА) | 12,5 x 3,0 x 3,5 | 30 |
| 3. | АВОМ (АТ301) | 2,015 x 1,94 x 4,0 | 2,15 |
| 4. | АВОГ (АТ101) | 4,025 x 2,33 x 4,0 | 6,8 |
| 5. | Дренажная емкость (ЕД401) | 4,56 x 2,32 x 5,35 | 5,0 |

Принципиальная технологическая схема и общий вид МКУ показаны на рис.3 и 4.

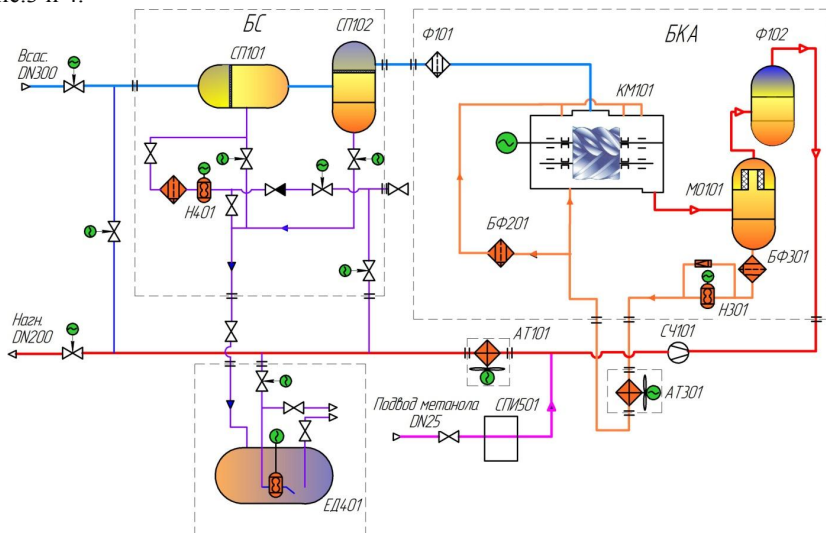


Рис. 3. Принципиальная технологическая схема МКУ

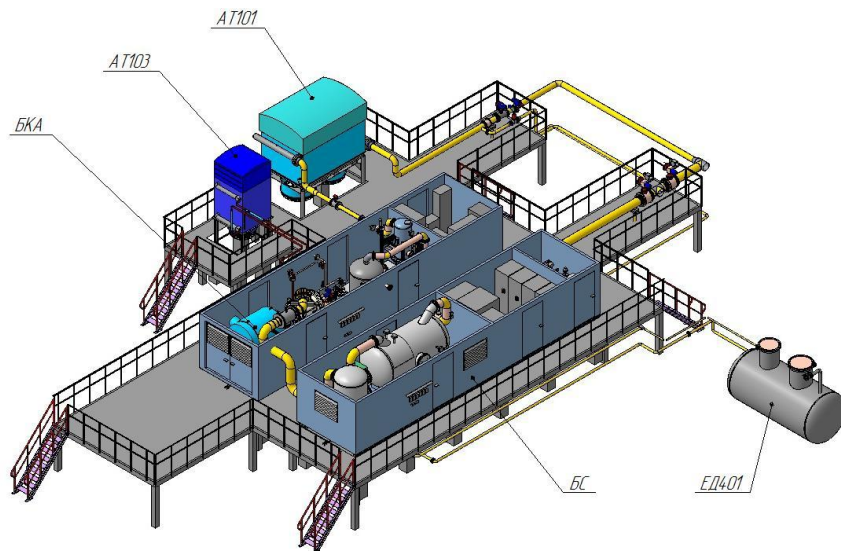


Рис. 4. Общий вид МКУ

Благодаря опыту, высокой квалификации и профессионализму специалистов АО «НИИтурбокомпрессор» были успешно решены следующие задачи, поставленные Заказчиком при проектировании: реализация Программы Правительства Российской Федерации по импортозамещению (применение комплектующих и оборудования исключительно отечественного производства, состоящих в реестре ПАО «Газпром»); обеспечение автономной работы МКУ («безлюдная» технология); утилизация отсепарированной пластовой жидкости путем подачи в нагнетательный трубопровод после МКУ; обеспечение межрегламентного ресурса МКУ – 8700 ч; работоспособность установки в широком диапазоне давлений и расходов газа; поставка МКУ «под ключ» в максимальной заводской готовности.

Преимущества МКУ: использование модульных компрессорных установок ТАКАТ позволит ПАО «Газпром» в перспективе отказаться от закупок аналогичного оборудования в Германии, Нидерландах и других зарубежных странах; стабильная добыча газа от ранее бездействующих скважин; поддержание положительного температурного режима работы газосборных шлейфов, что исключает образование ледяных пробок в коллекторах и уменьшает расход метанола в газосборной системе ВГП; повышение газоотдачи скважины в условиях низкого пластового давления; увеличение срока эксплуатации скважины; вынос жидкости с забоя.

УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СКВАЖИННОГО ДВУХВИНТОВОГО НАСОС-КОМПРЕССОРА ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ РОТОРОВ

Садыков А.А.¹, Шарафеев Р.Ф.², Сагбиев И.Р.²

¹ АО «Татарский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт нефтяного машиностроения» (АО «ТАТНИИНЕФТЕМАШ»), 420061, г.Казань, ул.Н.Ершова, 61

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», 420015, г.Казань, ул.К.Маркса, 68

Аннотация. Рассмотрена возможность увеличения производительности скважинного двухвинтового насос-компрессора, применяемого для добычи нефти, за счет изменения его проточной части при сохранении габаритных размеров. Дана оценка изменений прочностных характеристик роторов на основании метода конечных элементов в программном пакете HyperWorks компании Altair Engineering.

Abstract. The possibility of increasing the performance of twin-screw pump-compressor used for oil production is considered. The modification was implemented with preservation of external overall dimensions. Designed rotors was examined with finite element method in CAE HyperWorks developed by Altair Engineering Inc.

Ключевые слова: насос-компрессор, метод конечных элементов, HyperWorks.

Для добычи продукции скважин все большее распространение получают мультифазные насос-компрессоры (МФНК) [1-4]. Главными их преимуществами являются [5]: 1) возможность откачивать одновременно все три фазы продукции нефтяных скважин; 2) в процессе перекачки мультифазной продукции скважин устойчивость водонефтяных эмульсий увеличивается меньше, чем при использовании традиционных методов; 3) возможность использования, как для добычи, так и для транспортировки продукции скважин; 4) способность эффективно работать на малобебитных скважинах; 5) относительно простая в изготовлении конструкция.

Широкое внедрение МФНК в практику сдерживается недостаточной их энергоэффективностью.

В качестве объекта исследования выбран скважинный двухвинтовой насос-компрессор марки НДПН-20/6 [2, 3], предназначенный для работы в составе установки откачки пластовой жидкости из нефтяных скважин, в том числе на малобебитных до 30 м³/сут.

Регулирование производительности достигается путем изменения числа оборотов электропривода насоса при постоянном напоре. Приводом насоса

могут служить электродвигатели, серийно освоенные в производстве центробежных погружных насосов.

Возможное увеличение производительности требует внесения изменений в конструкцию проточной части МНФК [2]. При этом необходимо учесть, что внешний диаметр корпуса ограничен внутренним диаметром скважины.

Главными рабочими элементами рассматриваемого МНФК являются два ротора с постоянным шагом нарезки винтов (рис.1а). Одним из возможных способов увеличения производительности могло бы быть уменьшение диаметров валов d винтов (рис.1б).

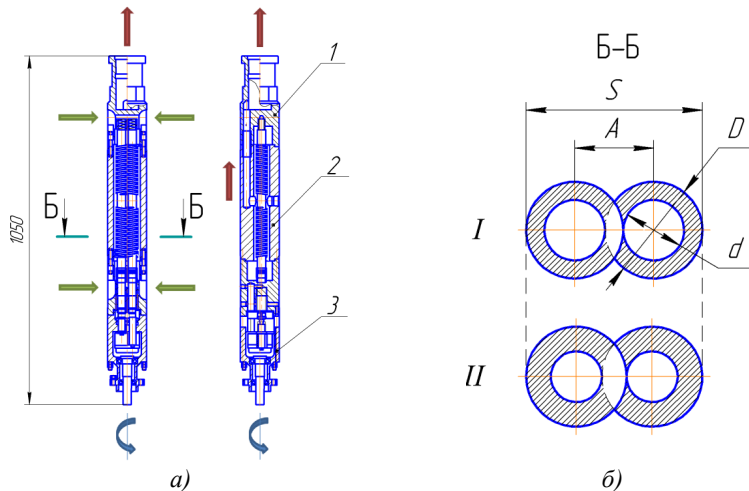


Рис.1. Скважинный двухвинтовой насос-компрессор марки НДПН-20/6:
 а) 1 – камера нагнетания, 2 – корпус с окнами всасывания, 3 – мультипликатор; б) характерное сечение проточной части:
 I – сечение исходного ротора при $d=25,0$ мм; II – сечение при $d=21,1$ мм

Например, при уменьшении d с 25 до 15 мм теоретическая производительность увеличивается на 52%. Это, в свою очередь, также приводит к снижению расхода металлоемкости до 25% на каждый ротор.

Однако, очевидно, что уменьшение имеет ограничение. Во-первых, с уменьшением диаметра вала увеличиваются деформации, что может привести к касанию роторов между собой и со стенками корпуса. Во-вторых, внутренние напряжения роторов могут превысить допустимые значения и привести к их разрушению. В-третьих, изменяются собственные частоты роторов, что может привести к появлению резонанса при заданной рабочей частоте 50 Гц.

Для оценки работоспособности насос-компрессора марки НДПН-20/6 построены трехмерные модели ведущего и ведомого роторов с помощью программного пакета трехмерного проектирования КОМПАС-3Д.

Далее геометрия импортировалась в программный пакет HyperWorks 13.0 [6]. В нем в препроцессоре HyperMesh построена тетрагональная сетка конечных элементов с учетом рекомендаций [7].

В модели учтены закрепления роторов в опорах качения и скольжения (рис.2).

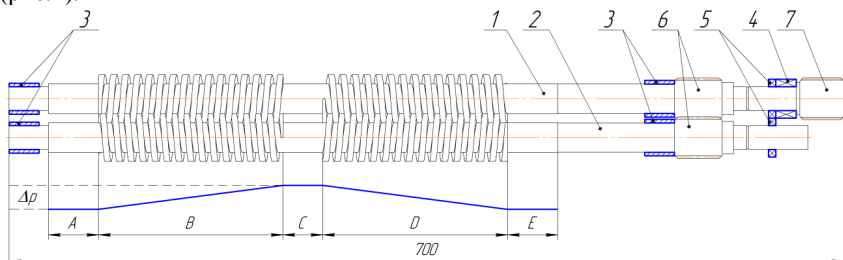


Рис.2. Геометрия роторов: 1 – ведущий ротор, 2 – ведомый ротор, 3 – опорный подшипник скольжения, 4 – опорный подшипник качения, 5 – упорный подшипник качения, 6 – шестерни связи, 7 – шестерня мультипликатора, линия ABCDE перепад давления

Геометрия роторов для расчета критических частот построена с учетом навесных деталей - шестерен. Каждый ротор рассчитывался отдельно.

В модели заданы центробежная сила и перепад давления между полостями всасывания и нагнетания. Частота вращения ротора задана равной 3000 об/мин. Максимальный избыточный перепад давления $\Delta p = 4$ МПа. Распределение давления по длине винта в первом приближении принято линейным (рис.2). Дополнительно рассмотрен вклад каждой из нагрузок на распределение напряжений и деформаций. В качестве материала выбрана сталь 25X13Н2.

Работоспособность оценивалась по результатам расчетов деформаций в осевом и радиальном направлениях, напряжения по Мизесу и собственных частот. Некоторые результаты расчетов представлены на рисунке 4.

Выводы:

1. Возможно увеличение теоретической производительности МНФК при сохранении его габаритов, а также узлов подшипников и уплотнений на 52%.

2. При снижении диаметров валов d роторов до 15 мм допустимые зазоры за счет радиальной деформацией роторов достигают предельной величины в 15 мкм. При этом собственная частота роторов приближается к значению рабочей частоты.

3. Уменьшение диаметра валов роторов при сохранении производительности МНФК возможно за счет снижения частоты вращения роторов. При этом будет уменьшаться интенсивность перемешивания перекачиваемой среды, что уменьшит устойчивости эмульсий. Кроме того снижение частоты вращения роторов теоретически должно уменьшить потери на трение в зазорах, в опорных и уплотнительных узлах.

Всё это улучшает энергетические характеристики насос-компрессора.

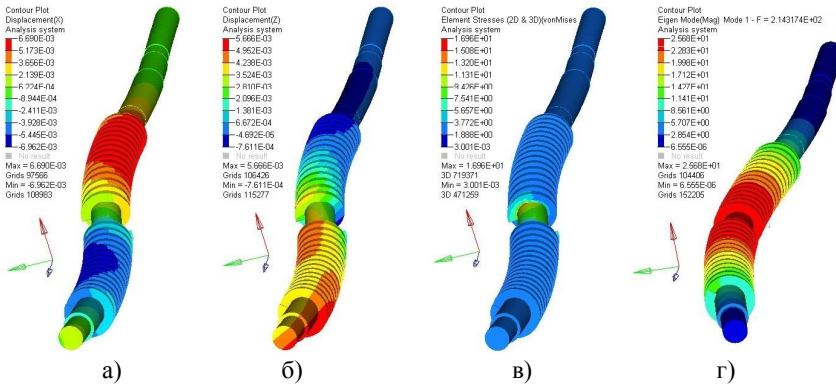


Рис.4. Результаты расчета в программе HyperWorks на примере ведущего ротора $d = 25$ мм, $D = 40$ мм: а) распределение деформации в радиальном направлении (мм); б) распределение деформации в осевом направлении (мм); в) распределение механических напряжений по критерию Мизеса (МПа); г) форма изгибных колебаний при 1-й критической частоте

Литература

1. Двухвинтовые насос-компрессоры: расчет и проектирование / В.А. Максимов, А.Ф. Садыков, И.В. Хамидуллин, Р.М. Назмутдинов // Казань: ОАО «ТатНИИнефтемаш», 2004. – 236 с.
2. Скважинный двухвинтовой насос-компрессор / А.Ф. Садыков, В.А. Максимов, А.А. Садыков, Д.М. Калимуллин // Вестник Казанского технологического университета». – 2012, Т.15, №8. – С.277-280.
3. Энергетические характеристики роторных нефтяных насосов / А.А. Садыков, О.В. Козулина, И.Р. Сагбиев, Ф.А. Галеев // Вестник Казанского технологического университета. – 2014, Т17, № 21. – С.283-284.
4. Погружные винтовые насосы / А.А. Садыков, О.В. Козулина, И.Р. Сагбиев, Н.Н. Пеплайкина / Вестник Казанского технологического университета. – 2014, Т.17, №15. – С. 215-217.
5. Патент РФ №2010115767/06, 20.04.2010. Погружная многофазная насосная установка // Патент России №2431765. 2011 Бюл. № 29 / А.Ф. Садыков, И.В. Хамидуллин, Д.М. Калимуллин, В.А. Максимов, А.А. Садыков.
6. <https://connect.altair.com>
7. Practical Aspects of Finite Element Simulation. A Study Guide. 3rd Edition Released 05/2015 <http://www.altairuniversity.com/free-ebooks-2>

СВЕРХКРИТИЧЕСКИЙ ПРОПАН-БУТАН В НЕФТЕПЕРЕРАБОТКЕ И НЕФТЕХИМИИ

Хайрутдинов В.Ф.,^{1,2}Гумеров Ф.М.,¹Фарахов М.И.²

¹ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, ул.К.Маркса, 68.

²ООО «Инженерно-внедренческий центр «Инжехим», Казань, ул. Шаляпина 14/8.

Аннотация. Представлены результаты экспериментальной реализации СКФ экстракционных и импрегнационных процессов с использованием пропан-бутана в качестве растворителя: утилизация нефтяных шламов, выделение нефти из нефтенасыщенных песчаников, утилизация железнодорожных шпал, регенерация катализаторов и пропитка щебня.

Abstract. The results of the experimental implementation of SCF extraction and impregnation processes using propane-butane as a solvent are presented: utilization of oil sludge, separation of oil from oil-saturated sandstones, utilization of railway sleepers, regeneration of catalysts and impregnation of crushed stone.

Ключевые слова: Сверхкритический пропан-бутан, шламы, песчаник, катализаторы.

В лабораторной и промышленной практике достаточно большое распространение в качестве сверхкритического флюидного (СКФ) растворителя получил диоксид углерода. Однако, несмотря на несомненные достоинства диоксида углерода как растворителя, его нельзя отнести к числу универсальных растворителей.

Наиболее предпочтительными растворителями (экстрагентами) для нефтяной и нефтехимической промышленности являются пропан, бутан и их смеси. Пропан и бутан обладают сродством к нефтепродуктам. Сырьем для их получения являются в основном нефтяные попутные газы, получаемые в процессе переработки нефти. Еще одним немаловажным преимуществом этих веществ является относительно низкие значения критических параметров, особенно давление. Критические параметры пропана и бутана согласно [1] характеризуются следующими значениями: пропан: $T_{кр}=369,82$ К ($96,67^{\circ}\text{C}$), $P_{кр}=4,247$ МПа; бутан $T_{кр}=425$ К ($151,85^{\circ}\text{C}$), $P_{кр}=3,797$ МПа. Для коммунально-бытового потребления промышленно выпускают их смесь [2], содержащая 75% масс. пропана и 25% масс.бутана.

С использованием пропан-бутана в качестве растворителя разработаны следующие процессы: утилизация нефтяных шламов [3,4], выделение нефти из нефтенасыщенных песчаников [5], утилизация железнодорожных шпал, пропитка щебня [6-8], регенерация катализаторов. Для экспериментального осуществления этих процессов разработана комплексная лабораторная установка, позволяющая осуществить процессы экстракции и импрегнации.

В рамках исследования утилизации нефтешламов использовано сырье, характеризующееся отсутствием воды и содержанием механических примесей в количестве 12.05% масс. Экстракционные процессы осуществлены в температурном диапазоне 85-160°C и интервале давлений 5-50 МПа. Выделенный нефтепродукт характеризуется отсутствием механических примесей, асфальтенов и воды. Определены первая (5-6,5 МПа) и вторая (11-12 МПа) кроссоверные точки изотерм растворимости исследованных нефтепродуктов в пропан - бутановом растворителе. Знание значений давления в кроссоверных точках является важным при установлении режимных параметров осуществления процессов экстракции и пропитки.

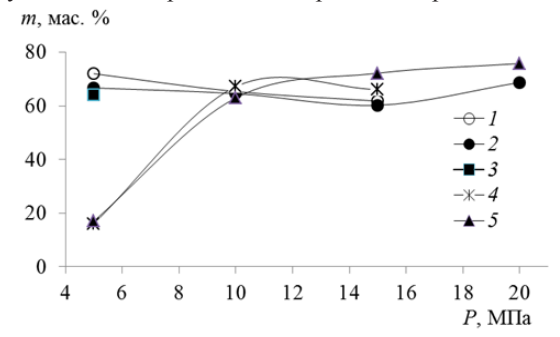


Рис. 3. Зависимость выхода нефтепродукта из нефтяного шлама от давления в процессе экстракционного извлечения с использованием пропан - бутанового экстрагента длительностью процесса 90 минут при различных температурах: 1 – 85°C; 2 – 100°C; 3 – 130°C; 4 – 140°C; 5 – 160°C.

В процессе исследования СКФ пропан-бутановой экстракционной обработки нефтеносных песков установлено, что предлагаемая технология позволяет выделить из песчаника до 96.34 мас. % углеводородов.

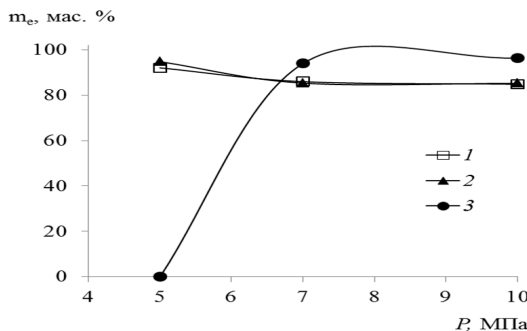


Рис. 3. Зависимость выхода углеводородов из битуминозного песчаника от давления в процессе экстракционного извлечения с использованием пропан -

бутанового экстрагента при различных температурах: 1–80°C, 2–100°C, 3–140°C; $M_2: M_1 = 1.5:1$.

При этом обработанный остаточный песчаник является хорошим сырьем для получения активированного минерального порошка.

Разработана эффективная технология пропитки карбонатного щебня нефтяными остатками, основанная на использовании СКФ-импрегнационного процесса с пропан-бутановым растворителем. В результате равномерной пропитки, недостижимой для традиционных методов, такая важная характеристика, как водопоглощение, снижена с 3.6% до 0.54 %.

Таблица 1. Физико-механические свойства исходного и пропитанных образцов щебня

| № эксп. условий | Фракция, мм | Истинная плотность, г/см ³ | Средняя плотность, г/см ³ | Пористость, % | Водопоглощение, % | Показатели дробности, %/ марка | |
|-----------------|-------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------|-------------------|--------------------------------|----------------------------|
| | | | | | | В сухом состоянии | В водонасыщенном состоянии |
| Исходн. образец | 20-40 | 2,7 | 2,36 | 12,6 | 3.6 | 16,4/600 | 17,1/600 |
| 1 | 20-40 | - | - | - | 2.04 | - | - |
| 2 | 20-40 | - | - | - | 0,43 | - | - |
| 4 | 20-40 | 2,69 | 2,29 | 14,9 | 0,21 | 16,4/600 | 16,9/600 |

Исследован процесс сверхкритической флюидной экстракционной регенерации ионнообменного катализатора КУ-2ФПП. Использование в роли экстрагента сверхкритической пропан-бутановой смеси ($T = 393\text{K}$, $P = 10\text{-}15\text{ МПа}$) позволяет восстановить активность катализатора до уровня, отвечающего требованиям промышленного использования.

Таблица 2. Результаты измерения активности (%) образцов катализатору КУ-2ФПП

| Образец (отработанный) | Образец регенерированный при $T = 393\text{K}$, $P = 10\text{ МПа}$ | Образец регенерированный при $T = 393\text{K}$, $P = 15\text{ МПа}$ |
|------------------------|--|--|
| 27 | 43 | 39 |

Для масштабирования полученных результатов необходимо моделирование процесса, а для моделирования необходимо исследовать термодинамические свойства систем участвующих в процессе. С этой целью проведены исследования растворимости чистых компонентов нефтяного

шлама, таких как нафталин, антрацен и др., в субкритическом флюидном (СБКФ) и сверхкритическом (СКФ) пропан-бутане.

С учетом исследований термодинамических свойств и лабораторных исследований осуществлено моделирование процессов.

По результатам моделирования создана пилотная установка, позволяющая осуществлять процессы СКФ экстракции и СКФ импрегнации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта № 17-48-160883.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kay W.B. Vapor-Liquid Equilibrium Relations of Binary Systems. The Propane-n-Alkane Systems. N-Butane and n-Pentane // J. Chem. Eng. Data. 1970. V. 15. №1. P. 46.
2. ГОСТ 20448-90
3. Ф.М. Гумеров, В.Ф. Хайрутдинов, Т. Р. Ахметзянов, Ф.Р. Габитов, З.И. Зарипов, М.И. Фарахов, А.В. Мухутдинов. Сверхкритическая флюидная пропан-бутановая экстракционная обработка нефтяных шламов. СКФ-ТП. 2016. Т.11. №2. С. 75.
4. V. F. Khairutdinov, T. R. Akhmetzyanov, F. R. Gabitov, Z. I. Zaripov, M. I. Farakhov, A. V. Mukhutdinov, F. M. Gumerov & R. S. Yarullin (2016) Extraction of oil products from oil sludge with the use of liquid and supercritical fluid extraction processes with propane-butane extractant, *Petroleum Science and Technology*, 34:4, 372-378.
5. В. Ф. Хайрутдинов, Т. Р. Ахметзянов, Ф. М. Гумеров, И. Ш. Хабриев, М. И. Фарахов. Сверхкритическая флюидная пропан-бутановая экстракционная обработка нефтеносных песков. *ТОХТ*. 2017. Т. 51, № 3, с. 288–294.
6. Ф.М. Гумеров, М.И. Фарахов, В.Ф. Хайрутдинов, Р.Ф. Габитов, З.И. Зарипов, И.Ш. Хабриев, Т.Р. Ахметзянов. Увеличение функциональности карбонатного щебня посредством сверхкритической флюидной импрегнации битуминозными соединениями. СКФ-ТП 2015. Т.10. №2. С. 4.
7. Патент на изобретение №2552286 от 05.05.2014.
8. F. M. Gumerov, M. I. Farakhov, V. F. Khayrutdinov, T. R. Akhmetzyanov, F. R. Gabitov, E. E. Kameneva. Impregnation of carbonate rock by deasphalted oil with the use of a supercritical fluid impregnation process, *Petroleum Science and Technology*, 2017. 35:2, 163-168.

НОВЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ОБОРУДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ДИСТИЛЛЯЦИИ

NOVEL APPROACH TO DEVELOPMENT OF DISTILLATION EQUIPMENT

Р.Н. Хамидуллин, М.Ю.Величко
(Rafik N Khamidullin, Maxim U Velichko)

Казанский национальный исследовательский технологический
университет
(Kazan National Research Technological University)

Рассматриваются процессы перегонки в потоке инертного газа, позволяющие отказаться от глубокого вакуума при проведении процессов дистилляции. Работа оборудования при атмосферном давлении позволяет существенно упростить требования к условиям эксплуатации и снизить капитальные затраты. Приводится лабораторный опыт реализации данного процесса на примере продуктов нефтехимии.

Considered the processes of distillation in an inert gas flow for abandon a deep vacuum during the distillation process. Equipment operating at atmospheric pressure can greatly simplify the requirements for the operating conditions and reduce capital costs. Laboratory experiment on the example of petrochemical products is presented.

Ключевые слова: оборудование, дистилляция, инертный газ, вакуум, экология нефтехимия, нефтепродукты, сушка.

Key words: equipment, distillation, inert gas, vacuum, ecology, petrochemistry, oil products, drying.

Перегонка, в общем, и дистилляция в частности, являются основными технологическими процессами большинства химических и нефтехимических производств. Стоимость оборудования для дистилляции составляет основную часть капитальных затрат на аппаратурное оформление всего производства. Кроме того энергозатраты данного процесса могут достигать до половины общего энергопотребления. От качества процесса дистилляции напрямую зависят потребительские свойства конечных нефтепродуктов [1].

Для исключения термической деструкции нефтепродуктов, или при отсутствии доступного качественного источника энергии давление процесса разделения понижают. В некоторых случаях это является единственно возможным техническим решением, несмотря на высокие экономические затраты.

Для уменьшения расходов на обеспечение вакуума в процессе разделения исходную смесь продувают острым водяным паром, который компенсирует

часть парциального давления и является источником тепла в системе. Кроме того, для создания вакуума на производствах используют паровые вакуумсоздающие системы, что оправдывает использование водяного пара. Получение водяного пара, утилизация вместе с остаточным содержанием продуктов разделения требуют высоких экономических затрат и обеспечения инфраструктуры по производству пара, утилизации нефтесодержащих сточных вод [2]. Другой инертной газовой среды в промышленном масштабе на производствах не используется.

Из-за этих особенностей вакуумной перегонки некоторые процессы, такие как получение неокисленного битума, обезвоживание мазута и нефтешлама, дистилляция отработанных масел, так и остаются не реализованными из-за экономической нецелесообразности процесса по традиционной схеме работы[3].

Решением необоснованно забытым, но имеющим высокий технологический потенциал для промышленного применения, по мнению авторов, является перегонка в среде неконденсируемых инертных газов.

В 70-80-е годы прошлого столетия в нашей стране большое внимание уделялось разработкам этой области. Препятствием для промышленного внедрения подобного решения была сложность удаления паров компонентов из инертного газа для возврата газа на рециркуляцию. Без такой рециркуляции технология становится нерентабельной.

Для очистки инертного газа от паров выделяемого компонента было предложено использовать контактное охлаждение газа собственным конденсатом [4].

Преимуществами данного технического решения являются:

- упрощение аппаратного оформления за счет исключения высоких требований для работы под вакуумом, за счет сохранения существующего основного аппаратного оформления.

- упрощение условий эксплуатации: отсутствие вакуума, снижение температуры процесса, снижение экологической нагрузки и повышение безопасности за счет использования инертной среды.

- улучшение экономических показателей: увеличение эффективности разделения, сокращение энергозатрат,

- увеличение эффективности работы массообменных устройств за счет турбулизации потоков с помощью инертного газа, за счет увеличения площади контакта фаз и кратности ее обновления по всему объему исходной смеси.

Данный процесс был смоделирован в ПО “Hysys” при различных условиях проведения процесса, на разных продуктах нефтехимии и газах.

В результате моделирования выявлена сопоставимость объемных расходов газовой фазы при низком давлении и при вводе инертного газа в систему при высоком давлении при всех одинаковых условиях проведения процесса. Для реализации технологии в промышленности может быть использовано различное аппаратное оформление, например обезвоживания мазута, предлагается схема на основе барботажных аппаратов [5].

На примере процесса обезвоживания мазута рассчитаны технологические параметры дистилляционной установки, которые представлены в таблице 1.

Для подтверждения теоретических расчетов был проведен физический эксперимент по отгонке различных нефтепродуктов в среде инертного газа (азот) [6,7]. Схема и общий вид экспериментальной установки представлены на рисунках 1 и 2.

Таблица 1 Расчетные параметры промышленной установки обезвоживания мазута

| № | Наименование параметра | | Величина |
|---|--|-------------------|----------|
| 1 | Расход исходного продукта | т/сут | 20 |
| 2 | Содержание воды в исходном продукте | % (масс) | 30 |
| 3 | Температура процесса обезвоживания, не более | °С | 125 |
| 4 | Установленная мощность электрооборудования | кВт | 11,0 |
| 5 | Потребляемое тепло | кВт | 340 |
| 6 | Расход греющего пара, P=0,6 МПа | т/ч | 0,44 |
| 7 | Расход охлаждающей воды (tн=20 °С) | м ³ /ч | 12,3 |
| 8 | Расход циркулируемого инертного газа (Азот) | кг/ч | 450 |

В ходе эксперимента исследовалась дистилляция сверхвязкой нефти Ашальчинского месторождения [8], обводненного мазута ТЭЦ, нефтяного шлама НПЗ, отработанного автомобильного синтетического масла.

Дистилляцией сверхвязкой нефти удалось выделить нефтяные фракции вплоть до вакуумных погонов. В остатке получен продукт, который модифицируется до битума по ГОСТ Р 52056-2003 и по ГОСТ 33133-2014. В результате дистилляции мазута и нефтешлама достигается полное обезвоживание. Получаемый дистиллят, легко расслаивается на воду и легкие углеводороды. Качество воды позволяют отводить ее в очистные сооружения.

Дистилляция отработанного масла после обезвоживания при температуре 100 °С проводилась при 290 °С.

Визуальное наблюдение физического эксперимента выявило отсутствие пенообразования и взрывного парообразования (так называемый выброс продукта).

Полученные результаты сведены в таблицу 2.

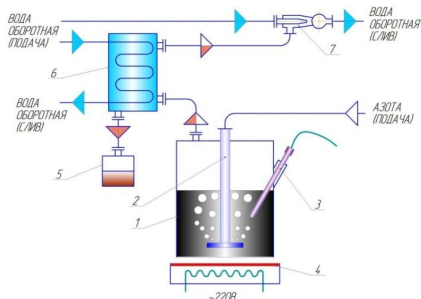


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки



Рисунок 2. Общий вид экспериментальной установки

1 – реактор, 2 – маточник, 3 – термометр, 4 – подогреватель, 5 – сборник конденсата, 6 – холодильник, 7 – водоструйный насос.

Таблица 2. Характеристика полученных продуктов дистилляции.

| № | Наименование продукта | Температура процесса °С | Продукты разделения, Выход продуктов |
|---|------------------------|-------------------------|---|
| 1 | Сверхвязкая нефть | 330 | Светлые нефтепродукты 21%, Вакуумн. погоны 32%, Битум (БНД 40/60) 47% |
| 2 | Мазут (3% воды) | 105 | Легкие УВ 1%, Вода 3%, Мазут (вода отс.) 96% |
| | Мазут (35% воды) | 110 | Легкие УВ 1%, Вода 35%, Мазут (вода отс.) 64% |
| 3 | Нефтешлам | 110 | Легкие УВ 7%, Вода 42%, Песок 5%, Тяжелые УВ (вода отс.) 46% |
| 4 | Масло а/м отработанное | 290 | Вода 1%, Масляный дистиллят 72% Гудрон 27% |

На основе проведенного математического моделирования определена методика по расчету количества инертного газа, необходимого для проведения процесса дистилляции. Результаты расчетов согласуется с экспериментальными данными.

Проведенные исследования показывают, что предлагаемая технология позволяет решить многие производственные задачи, связанные с разделением и сушкой нефтепродуктов.

Литература.

1. Ахметов С.А., Ишмияров М.Х., Кауфман А.А. Технология переработки нефти, газа, и твердых горючих ископаемых: Учебное пособие/Под ред.С.А. Ахметова. – СПб.; Недра. 2009. – 832 с.

2. Капустин В.М., Гуреев А.А. Технология переработки нефти. В 2 ч. Часть вторая. Деструктивные процессы. – М.: КолосС, 2007. – 334 с.: ил. Технология переработки нефти. В 2-х частях. Часть первая. Первичная переработка нефти/ Под ред. О.Ф. Глаголевой и В.М.Капустина. – М.: Химия, КолосС, 2007. – 400 с.: ил.

3. Каминский Э.Ф. В.А.Хавкин. Глубокая переработка нефти: технологический и экологический аспекты.-М.:Техника,2001.-384с.

4. Патент РФ «Способ очистки газов» № 2505341, НПО Пылеочистка, Бюл.№ 3, 2014.

5. Хамидуллин Р.Н., Ковальчук Д.Н. Перспективная технология глубокой дистилляции нефтепродуктов в среде инертного газа. Сборник: Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию высшего нефтегазового образования в Республике Татарстан. Альметьевский государственный нефтяной институт. 2016. С. 414-417.

6. Р.Н. Хамидуллин, Д.Н. Ковальчук, Э. А. Галиуллин, Экспериментальные исследования перегонки тяжелых нефтяных остатков в среде инертного газа. Вестник Казанского государственного ун-та, 2015. Т. 18, № 20, 111-113.

7. Хамидуллин Р.Н., Величко М.Ю., Ковальчук Д.Н. Сушка нефтепродуктов дистилляцией в среде инертного газа. Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 24. С. 69-71.

Хамидуллин Р.Н., канд. техн. наук, доц. каф. «Процессов и аппаратов химической технологии» «Казанского национального исследовательского технологического университета. E-mail: 434@mail.ru

Величко М.Ю. канд. техн. наук, доц. каф. «Процессов и аппаратов химической технологии» «Казанского национального исследовательского технологического университета. E-mail: maxwell@mail.ru

Khamidullin R.N, Ph.D., Associate Professor of "Processes and devices of chemical technology" department of Kazan national research technological university. E-mail: 434@mail.ru

Velichko M.U. Ph.D., Associate Professor of "Processes and devices of chemical technology" department of Kazan national research technological university. E-mail: maxwell@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНОГО ПРОДУКТА НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРИРОДНОГО СЫРЬЯ

Р.Н.Яруллин, Ф.Т.Юсупов, А.А.Саеитшин, Э.Н.Идрисов, Е.Л.Матухин

420032, Республика Татарстан, Россия, г. Казань, ул. 1 Мая, д.14.

E-mail:kazanpowder@KGTS.ru¹

Рассмотрены особенности оборудования и технологий получения мелкодисперсного продукта на основе растительного природного сырья

Ключевые слова: целлюлоза, природные полимеры, наноструктура, сорбенты

Considered particularities of the equipment and technology of the reception of the powdery product on base vegetable natural cheese

Keywords: cellulose, natural polymers, sorbents

В настоящее время актуальным является создание технологической малотоннажную установки по изготовлению порошкообразных материалов на основе природных полимеров из отечественного растительного сырья для отработать технологические режимы и проведения необходимых испытаний и сертификации полученных продуктов.

Перспектива и широта применения порошковых материалов на основе природных полимеров обусловлена в значительной степени неограниченной и возобновляемой сырьевой базой за счет постоянного биосинтеза растительных материалов. С другой стороны накоплен богатый научный материал, включающий исследование их структуры, физико-химических свойств, разработку соответствующих методов исследования и, в том числе с привлечением современной научной экспериментальной и испытательной базы. Появляются совершенно новые прорывные направления управляемого биосинтеза природных материалов и, в частности, порошковой мелкодисперсной целлюлозы вплоть до наноструктур.

Области применения дисперсных полимерных материалов связаны с производством как энергонасыщенных материалов, конструкционных изделий, так и использованием в лаках, в производстве конструкционных материалов, сорбентов, порошковых бактерицидных композиций, средств гигиены и в других разнообразных целях. Известно получение терморезистивных материалов на основе пластмасс с использованием порошковых композиций с применением структурирующих полимерных добавок природного происхождения. Особое направление по обеспечению экологической безопасности, связанное с расширенным применением монодисперсных волокнистых материалов, обусловлено с расширением областей производства и применении биологически разлагаемых полимерных материалов и изделий на основе природных полимеров.

Представляет большой практический интерес расширение производства микрокристаллической, порошковой целлюлозы многоцелевого назначения. Широко начинается использоваться для добавки в верхний слой дорожного покрытия гранулят на основе волокнистых композиций, модифицированных гидрофобизаторами. В целом работа направлена на решение проблемы создания унифицированного целлюлозного сырья для использования широкой номенклатуры изготавливаемого целевого компонента (энергонасыщенных материалов, конструкционных изделий, лаков, конструкционных материалов, сорбентов, порошковых бактерицидных композиций, средств гигиены и в других новых разнообразных целях на основе отечественного целлюлозосодержащего сырья по экологически безопасным технологиям (отсутствие вредных серо- и хлор- содержащих веществ).

Изменение волокнистой формы растительных материалов путем электрофизической деструкции на ускорителе электронов и последующем диспергированием при механической или химической обработке при достижении определенной степени диспергирования приводит к появлению качественно новых свойств, связанных прежде всего с развитой удельной поверхностью продукта.

Командой проекта разрабатывается безотходная технология диспергирования растительных материалов с получением новых продуктов с комплексом уникальных свойств.

Получаемые продукты являются при необходимости почти полностью кристаллическими, аморфными и монодисперсными. Особенностью проекта является использование для производства отечественной сырьевой целлюлозной базы взамен импортируемой хлопковой целлюлозы.

В отличие от микрокристаллической целлюлозы, получаемой традиционным кислотным гидролизом, применение комбинированного метода обработкой ускоренными электронами и последующим диспергированием природного полимера удается получить целлюлозные образцы с регулируемой степенью кристалличности, пористой структурой, молекулярной однородностью, что в особенности является важным для процессов синтеза простых и сложных эфиров целлюлозы и в частности для азотнокислых эфиров целлюлозы специального назначения. Разрабатываемые технологии позволяют не только заменить импортируемое хлопковое сырье на отечественное, но и в 2-3 раза сократить длительность наиболее напряженных стадий переработки.

Аморфизация частиц растительного материала повышает подвижность первичных гидроксильных групп макромолекул природного полимера. С помощью метода растровой электронной микроскопии показано, что частицы растительного материала, предварительно химически облагороженного без использования соединений хлора, при некоторой критической степени механического диспергирования, которая сопровождается деполимеризацией макромолекул, интенсивно набухают в водной среде. Этими явлениями объясняется высокая адсорбционная и реакционная способность дисперсных растительных материалов, получаемых по предлагаемой технологии и, в свою

очередь, высокая их эффективность в качестве разнообразных сорбентов и для других целевых применений.

Наиболее близкими аналогами предлагаемого технического решения и его преимущество являются:

| Название | Описание |
|--|---|
| Хлопковая целлюлоза импортируемая из Казахстана и Узбекистана | Хлопковое волокно в последнее время характеризуется существенной неоднородностью, засоренностью и большим содержанием пылевидных фракций. Разрабатываемы аналог имеет унифицированные физико-химические и структурные показатели формируемые за счет модификации целлюлозы |
| Российский аналог «Целосорб» Производитель «Полимерсинтез», г. Владимир | Гранулированный порошок хлопковой целлюлозы с размером частиц 0,2-1,0 мм. Сорбционная способность 14-24 г воды на 1 г средства. Противомикробные свойства – не имеет. Использование в фазах раневого процесса – в 1й фазе. |
| Зарубежный аналог Дебризан Производитель фирма «Фармация», Швеция | Сшитый гранулированный (0,12 – 0,3 мм) декстран. Сорбционная способность 5 г воды на 1 г средства. Противомикробные свойства – не имеет. |
| Предлагаемый сорбент на основе льноволокна | Порошкообразное вещество мягкой консистенции, гигроскопичное, с размером волокон 20-30 мкм. Сорбционная способность 20-35 г воды на 1 г средства. Противомикробные свойства – имеет, |

Большие перспективы имеются в тиражировании технологии для организации уникальных производств электрофизической модификации целлюлозосодержащих материалов на ряде предприятий Минпромторга РФ. Объемы потребления предприятий целлюлозы на основе отечественных источников сырья оцениваются на уровне не менее 6000 тонн в год.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.А. Сарымсаков, М.М. Балтаева, Д.С. Набиев, С.Ш. Рашидова, С.М. Югай. Диспергированная микрокристаллическая целлюлоза и гидрогели на ее

основе. Институт химии и физики полимеров АН РУз. Химия растительного сырья. 2004. №2. с.11-16.

2. А.Н. Прусов, С.М. Прусова, А.И., Рыжов, А.Е. Голубев. Получение порошковых материалов из целлюлозосодержащего сырья и их свойства // Боеприпасы и высокоэнергетические конденсированные системы.- 2011.- №1. – С.120-125.

3. Е.Л. Матухин, М.И. Самитов Создание композиционных высокопористых наноструктурированных материалов. // Материалы IV Международного инновационного нанотехнологического форума (NANOTECH2012). Казань, 27-29 ноября 2012 г. Казань: Изд-во ГУП РТ «Татарстанский ЦНТИ», 2012. 495 с. С.222-224.

4. А.А. Саешин, З.Т. Валишина, А.В. Косточко, Е.Л.Матухин Исследование структуры и свойств порошковых целлюлоз // Материалы XX Международной научно-практической конф. «Реагенты и материалы для строительства, эксплуатации и ремонта нефтяных, газовых газоконденсаторных скважин: производство, свойства и опыт применения. Экологические аспекты нефтегазового комплекса».- Суздаль, 2016. –с..106.

5. Юсупов Ф.Т., Саешин А.А., Борбузанов В.Г.,Валишина З.Т., Косточко А.В. Технологии и оборудование измельчения целлюлозосодержащих материалов // Материалы Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2016 (МНТК «ИМПТОМ -2016») Ч.1. –Казань, 2016.-374 с. С. 364-367.

6. Саешин А.А., Валишина З.Т. Е.Л. Матухин, Косточко А.В. Исследование морфологии волокна целлюлозы как возобновляемого источника растительного сырья // Журнал экологии и промышленной безопасности №1, 2016- с. 60-62.

7. Борбузанов В.Г.,Саешин А.А., Матухин Е.Л., Косточко А.В. Структура и свойства высококачественных дисперсных нитратов целлюлозы // Материалы VIII Всероссийской конференции «Энергетические конденсированные системы « (8-11 ноября 2016 г.). Институт проблем химической физики РАН, Федеральный центр двойных технологий «Союз». Черноголовка – Дзержинский – 2016. С. 157- 162.

8. Модификация структуры и свойств целлюлозы / под ред. А.В. Косточко. Монография, Изд-во КНИТУ, Казань, 2015. – 172 с.

СЕКЦИЯ № 4

«Математическое и физическое моделирование информационных, технических, технологических и управленческих систем и процессов»

Модератор:

Просвиряков Евгений Юрьевич – директор ООО «Теплообмен: адвекция и конвекция», Институт машиноведения УрО РАН, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, к.ф.-м.н.

ПРОГРАММА КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА КАМЕР СГОРАНИЯ ГТД

Александров Ю.Б., Мингазов Б.Г., Хасанова Ю.А., Гибадуллина А.Э.,
Шарафутдинова Р.А., Михайлов Э.А.

*Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева КНИТУ – КАИ
Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev*

Аннотация. В работе продемонстрирован метод анализа и оптимизации работы камеры сгорания на основе разработанной компьютерной программы.

Annotation. The method of analysis and optimization of the combustion chamber operation based on the developed computer program is demonstrated.

Ключевые слова: камера сгорания, процесс горения, оптимизация, эмиссии.

Методика моделирования процессов в камерах сгорания газотурбинных двигателей в составе газотурбинных установок основывается на теоретических положениях, разработанных при изучении отдельных физических явлений, из которых складывается рабочий процесс. Сложность явлений, протекающих в камере, заставляет в ряде случаев прибегать к упрощенным зависимостям, использовать статистические данные предыдущего опыта проектирования.

На начальном этапе для формирования исходных параметров и конструктивных особенностей камер сгорания производится предварительный расчет облика камеры сгорания с помощью разработанной программы Combustion chamber 1D-2D [1, 2], для упрощения именованная далее, как программа «Камера». В этой компьютерной программе имеется возможность проводить анализ камеры сгорания по квази-одномерной и 2D постановке и выполнять автоматизированные сопоставления с 3D расчетами. Графические зависимости осреднённых по сечениям температур и других параметров, показывают их достаточную сходимость в ходе проведенных тестов для различных конструкций камер. Пример работы программы и сопоставления по многомерным расчетам продемонстрирован на примере расчета камеры сгорания газотурбинного двигателя НК-38СТ.

Создание расчётной модели начинается с ввода геометрических размеров анализируемой камеры сгорания в программу «Камера». Для этого существуют два варианта. Первый вариант предполагает ручной ввод координат характерных точек стенок и элементов камеры сгорания, а второй полуавтоматический путем обрисовки чертежа в интерфейсе программы. После ввода геометрических размеров, в программу прописываются данные о

расходах воздуха и топлива, давления и температуры за компрессором. Вводятся данные о количестве и типе завихрителей, варианты подвода вторичного воздуха через стенки жаровой трубы, количество отверстий и их координаты относительно продольного направления камеры сгорания. Программа автоматически показывает облик камеры сгорания и распределение параметров в продольном направлении, данные на выходе, а так же цветное схематическое представление температурных полей в области жаровой трубы. При изменении параметров работы камеры сгорания, программа автоматически пересчитывает все полученные данные за доли секунд.

Для получения дополнительной информации о внутрикамерных процессах производится двухмерный расчет. Программа автоматически строит сетку и производит расчеты в области камеры сгорания. По итогам расчета автоматически формируется выходной файл отчета, который подгружается в программу «Камера» и в меню «графики» становится доступным выбор графических зависимостей для сравнения с одномерным режимом работы программы. Графические зависимости вдоль камеры сгорания осредненные по поперечному сечению для значений температуры (T), скорости потока (W), полноты сгорания (ETA), местных значений коэффициента избытка воздуха по остаточным компонентам (ALPHA), а также относительной площади подвода вторичного воздуха (FF) показаны на рис. 1, а.

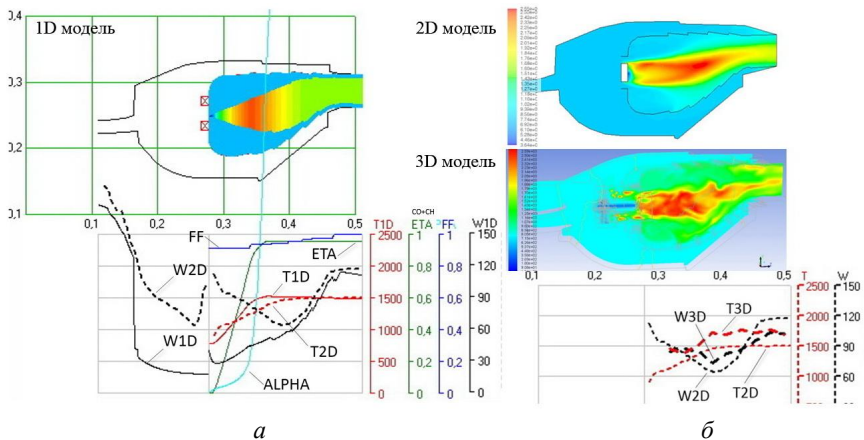


Рис. 1. Сопоставление по многомерным расчетам

По результатам одномерного расчета цветным полем показано распределение температуры от синего до красного, соответственно от минимальных до максимальных значений температур газового потока. Синий фон во внешней зоне жаровой трубы – соответствует температуре воздуха, не участвующего в процессах горения и смешения. Цветами показана область жаровой трубы, где равномерно перемешаны воздух, топливо и продукты сгорания. На основании графических зависимостей можно сделать вывод о

достаточно хорошей сходимости результатов по одномерному и двумерному расчетам, отличия по температуре наблюдаются в области подвода первичного воздуха в зоне горения для 1D и это можно объяснить упрощенной схемой смеси образования в модели. По скоростям потока отличия проявляются в большей степени в области фронтального устройства (горелочное устройство) и объясняются упрощением 1D и 2D моделей по сравнению с моделью выполненной в 3D постановке.

На заключительном этапе работ проводится анализ и сопоставление расчетных данных по 1D, 2D моделям полученных с помощью программы «Камера» с результатами численного расчета по 3D модели. На рис. 1, б. показано такое сопоставление по двумерному и трехмерному расчету. Расчёты по одномерному расчету на график не включались для избежание его перегруженности по параметрам.

Использование созданной программы «Камера» значительно ускоряет расчеты внутри камерных процессов, что позволяет проводить оптимизацию конструкции камеры сгорания по различным режимным (рис. 2) и конструктивным параметрам (рис. 3) в кратчайшие сроки.

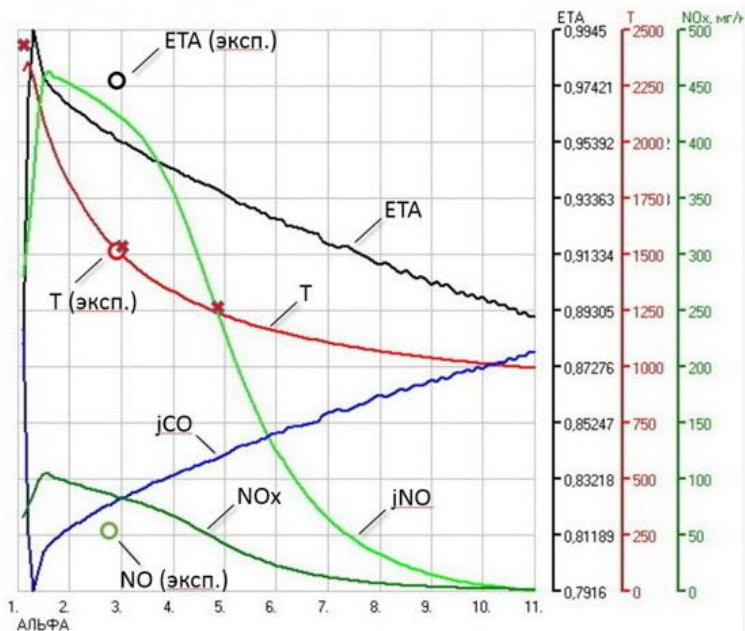


Рис. 2. Графическая зависимость изменения параметров по методу «характеристик» - изменения параметров от коэффициента избытка воздуха (АЛЬФА): о – экспериментальные данные; х – результаты численного расчета

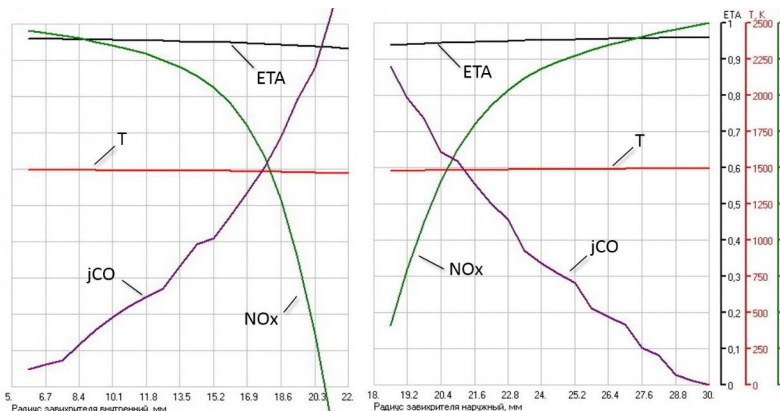


Рис. 3. Графическая зависимость изменения параметров по методу «характеристик» - влияние изменения внешнего и внутреннего радиуса завихрителя

На рис. 2, показано изменение параметров на выходе из камеры сгорания в зависимости от суммарного коэффициента избытка воздуха. Отрыв пламени и его погасание при высоких коэффициентах избытка воздуха не учитывалось в расчетной модели. Зависимости полноты сгорания, температуры, эмиссии оксидов азота сопоставлены с известными экспериментальными значениями и расчетными 3D моделями. Для расчета подобных зависимостей с использованием 3D модели потребовалось значительное время, а расчет по 1D модели хоть и носит приближенный характер, но в основном показывает тенденции по изменению основных параметров практически мгновенно. Это является весьма важным преимуществом программы при проведении расчетов, анализа и оптимизации камер сгорания. Разработанная программа «Камера» может быть успешно применена на стадии предварительного проектирования для прогнозирования характеристик работы камер сгорания.

Список литературы

1. Александров Ю.Б., Мингазов Б.Г., Токмовцев Ю.В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016611770 Программа одно- и двух- мерного расчета и оптимизации камер сгорания газотурбинных двигателей (Combustion chamber 1D-2D), заявка № 2015662645, поступл. 22.12.2015, регистр. 10.02.2016., г. Москва.
2. Александров Ю.Б., Мингазов Б.Г. Моделирование процессов в камерах сгорания ГТД. Материалы Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2016» (МНТК «ИМТОМ-2016»), г. Казань 7-9 декабря 2016 г. Ч. 2. – Казань, 2016, С 8-11

АНАЛИЗ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГТД НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Александров Ю.Б., Мингазов Б.Г., Хасанова Ю.А., Гибадуллина А.Э.,
Шарафутдинова Р.А., Михайлов Э.А.

*Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева КНИТУ – КАИ
Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev*

Аннотация. Произведен численный расчет газодинамики и процессов горения в камере сгорания газотурбинного двигателя. Обработка результатов по неравномерностям параметров в характерных сечениях производилась автоматизированным методом с помощью созданной компьютерной программы. Описанный метод анализа камер сгорания позволяет сократить трудоемкость расчетов.

Annotation. A numerical calculation of gas dynamics and combustion processes in the combustion chamber of a gas turbine engine is performed. The processing of the results for the non-uniformity of the parameters in the characteristic sections was carried out by an automated method using the computer program created. The described method of analyzing combustion chambers reduces the complexity of calculations.

Ключевые слова: камера сгорания, процесс горения, оптимизация, эмиссии.

При проведении научно-исследовательских работ по доводке камер сгорания газотурбинных двигателей (ГТД), в настоящее время широко применяется численные методы. Основными этапами создания численной модели являются: создание геометрической модели, нанесение сетки на расчетную область, выбор граничных условий, решение задачи, анализ результатов. Каждый из этапов работ занимает значительное время и требует высокую трудоемкость.

Расчетных вариантов при доводке камер сгорания анализируется довольно большое количество и для сокращения времени и систематизации полученных результатов предлагается использование компьютерной программы [1], позволяющей автоматизировать процесс обработки данных.

В качестве примера рассмотрен анализ численной модели камеры сгорания НК-38СТ. Предварительно были проведены исследования влияния: секторности модели, закрутки потока от компрессора, типов граничных условий и моделей горения.

Были приняты следующие типы граничных условий и расчетные модели. В качестве граничных условий на входе в КС задавался массовый расход воздуха, на входе в горелку метан, на выходе из КС – условие постоянства статического давления. Модель была ограничена одним сектором, содержащим одно горелочное устройство (рис. 1). По боковым стенкам сектор имел периодические условия для учета закрутки потока от завихрителя. Для описания турбулентного потока во внутрикамерном пространстве использовалась двухпараметрическая модель RNG k - ϵ со стандартной пристеночной функцией. Горение по двум моделям горения: на первом этапе по модели брутто ED, на втором этапе горение моделировалось как совокупность ламинарных очагов пламени в турбулентном потоке для неперемешанных компонентов. В качестве набора химических реакций окисления метана рассматривался механизм Kee (18 компонентов смеси и 58 химических реакций).

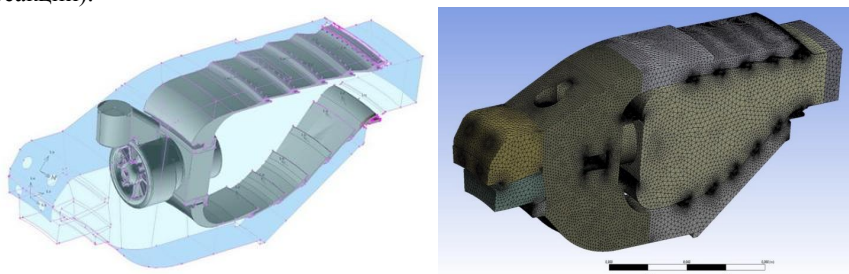


Рис. 1. Геометрическая и сеточная модель камеры сгорания

Сеточная модель содержала 5 млн. тетраэдральных элементов. Выполнена в системе ANSYS Meshing с использованием пристеночного сгущения в элементах со сложной геометрией и вблизи стенок.

В каждой исследуемой модели КС, в характерных сечениях, с помощью разработанной компьютерной программы автоматизации, были заданы координаты точек для определения температуры, давления, скорости потока и соответственно неравномерности этих параметров по окружным и радиальным направлениям. Предварительно, для отработки методики определения неравномерности параметров и получения достоверных результатов моделирования проанализировано влияние количества точечных «датчиков» (плотность установки точек по сечению на выходе КС) на получаемые результаты и выявлено требуемое число итераций, необходимое для адекватного осреднения расчетных данных. В каждом «точечном датчике» все результаты осреднялись по 10000 итерациям для достижения наименьших (менее 0,3%) погрешностей. Характерные сечения камеры сгорания с отмеченными «точечными датчиками» показаны на рис. 2.

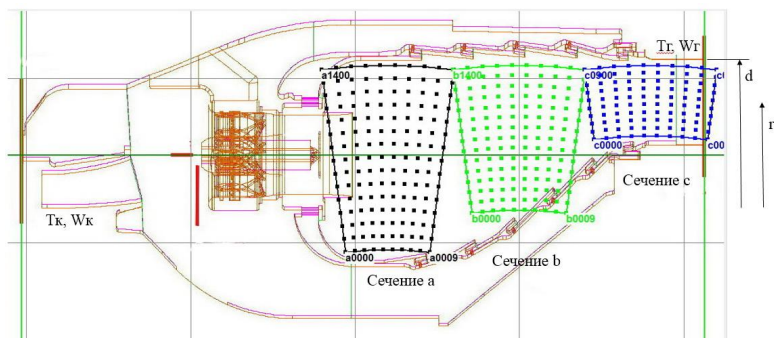


Рис. 2. Продольное сечение камеры сгорания, проходящее через ось горелочного устройства и отмеченными «точечными датчиками» в характерных сечениях

После нанесения «точечных датчиков» в характерных сечениях 3D модели камеры сгорания, последующего расчета, осреднения полученных результатов по итерациям, были получены профили неравномерностей распределения по выбранным параметрам (рис. 3).

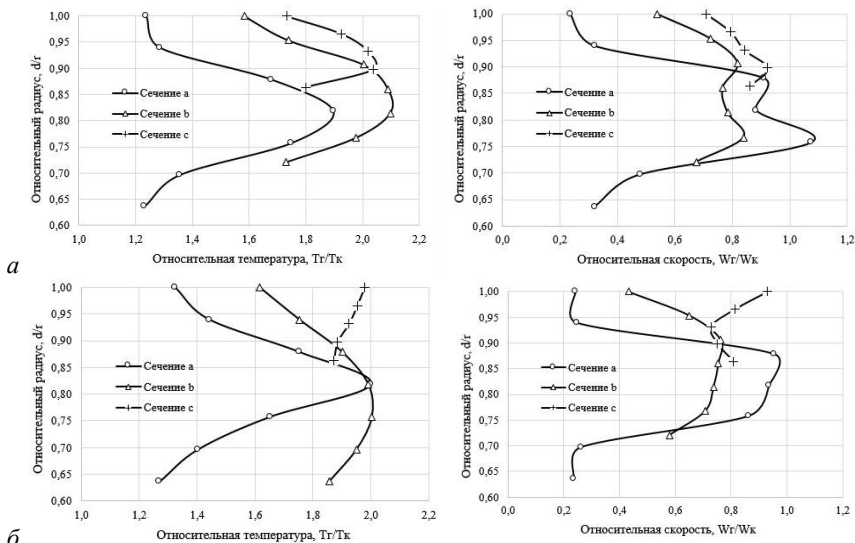


Рис. 3. Профили относительных температур и скоростей на выходе из КС: а – ограничение расчетного сектора с условием «периодического течения», б – ограничение расчетного сектора с использованием граничного условия симметричности

На рис. 3 показано влияние типа граничного условия при ограничении кольцевой камеры сгорания одним сектором. При выборе граничного условия «симметрия» получаемые профили скоростей и температур (рис. 3, б) далеки от экспериментальных и теоретических в виду ограничения по закрутки потока от завихрителя. Выбор «периодического» типа граничного условия позволяет получить достоверные зависимости.

Распределение полученных параметров по длине камеры сгорания были сопоставлены с экспериментальными данными [2] в виде зависимости температурной неравномерности от безразмерного параметра $(L/D)_L \Delta P_L / \bar{q}$.

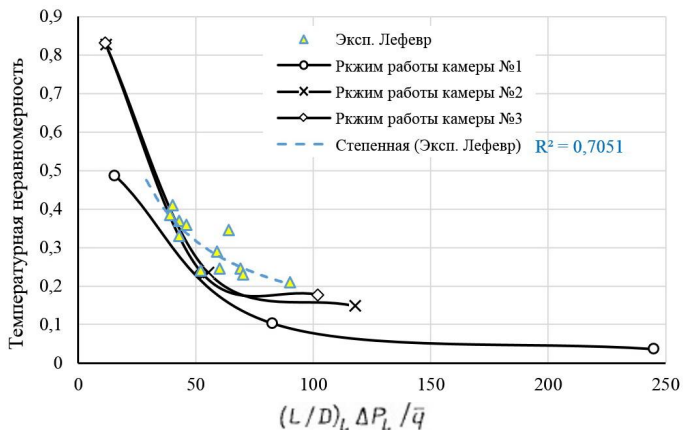


Рис. 4. Сопоставление расчетных зависимостей температурной неравномерности с данными эксперимента

Результаты численного расчета и экспериментальные зависимости имеют схожее обобщение. Зависимость описанная в [2, с.164] имеет универсальный вид для различных камер сгораний и выведена автором по результатам экспериментальных исследований. В качестве обобщающего параметра использовалась отношение длины камеры сгорания к высоте жаровой трубы $(L/D)_L$. Отношение $\Delta P_L / \bar{q}$ – показывает отношение потерь полного давления к динамическому. Температурная неравномерность рассчитывалась как отношение диапазонов температур $(T_{\max} - T_{\min}) / (T_{\text{cp}} - T_{\min})$.

Список литературы

1. Александров Ю.Б., Мингазов Б.Г., Токмовцев Ю.В. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2016611856 «Программа автоматизированной обработки и анализа газодинамики и процессов горения в камерах сгорания газотурбинных двигателей (Servis 3D)» КНИТУ-КАИ, заявка №2015662627, дата поступления 22 декабря 2015 г., дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 11.02.2016 г.

2. Лефевр А. Процессы в камерах сгорания ГТД. М.: Мир, 1986, - 566 с.

ОПАСНЫЕ ЗОНЫ ПРИ ДВИЖЕНИИ БЕСПИЛОТНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ПЛАТФОРМЫ

Андрианов Денис Юрьевич, Фищенко Петр Алексеевич

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г.
Йошкар-Ола 424000 г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д.3

Аннотация. На основе использования методов математического моделирования и теоретической механики установлены формы и размеры опасных зон при движении беспилотной транспортной платформы со смещаемым центром тяжести.

Abstract. On the basis of use of methods of mathematical modeling and theoretical mechanics fitted shape and dimensions of the danger zones when driving unmanned vehicle platform with a shifting center of gravity.

Ключевые слова: максимально допустимая скорость, беспилотная транспортная платформа, условие боковой устойчивости, встреча с препятствием.

Актуальность. При решении задач социально-экономического развития северных территорий предлагается разработка новых технологий, включая создание беспилотной транспортной платформы со смещаемым центром тяжести [1]. Основные признаки действия данного технического решения в том, что беспилотная снегоходная платформа со смещаемым центром тяжести, содержит систему обеспечения устойчивости, представляющую собой несущее опорно-поворотное устройство, с возможностью смещения центра тяжести полезной нагрузки относительно оси транспортной платформы посредством кинематически связанных между собой приводных скошенных колец с возможностью их относительного поворота [2]. В работе [3] установлено существование таких двух опасных зон при движении беспилотной транспортной платформы. В настоящей работе определены размеры первой опасной зоны.

Постановка проблемы. К одному из преимуществ данной беспилотной платформы можно отнести её *боковую устойчивость*. Однако эту устойчивость надо обеспечить. Обеспечить, выполняя условие боковой устойчивости.

Кроме того, в процессе движения может встретиться препятствие, перед которым необходимо либо остановиться, не столкнувшись, либо принять меры к объезду, не задевая препятствие.

Цель работы – определение формы и размеров опасных зон, подлежащих исключению из области движения платформы. Это позволит безопасно получать максимально допустимую скорость, исключая боковое опрокидывание беспилотной транспортной платформы.

Постановка задачи. Зная m – массу всей системы (то есть массу самой платформы вместе с массой груза), L – ширину опорной площадки, H – высоту расположения центра тяжести всей системы над опорной площадкой, f – коэффициент трения между платформой и поверхностью при торможении, получить условие для определения максимально допустимой скорости и найти форму двух опасных зон, где возможно опрокидывание платформы на бок или столкновение с препятствием, а также найти размеры первой из этих зон.

Решение задачи. Траекторией движения транспортной платформы является некоторая плоская кривая в горизонтальной плоскости. Для упрощения решения задачи рассматривается равномерное движение, то есть движение со скоростью постоянной по модулю. Скорость есть величина векторная, то есть характеризуется и числом, и направлением. Так как модуль скорости остаётся постоянным, а направление скорости остаётся произвольным, то траектория остаётся криволинейной.

В работе рассматривается случай равномерного движения по окружности, то есть когда выполняются условия $|v| = \text{const}$ и $R = \text{const}$. Беспилотная транспортная платформа вместе с грузом моделируется как материальная точка, имеющая массу m и вес $P = mg$, где g – ускорение свободного падения.

При равномерном движении по окружности вращательное ускорение $a_{вр}$ (оно же касательное ускорение a_t) определяется как производная от скорости по времени. Так как скорость движения постоянна по модулю, то вращательное (касательное) ускорение получается равным нулю.

Нормальное (перпендикулярное к траектории) ускорение при движении по окружности является центростремительным ускорением. Нормальное ускорение определяется по величине как отношение квадрата скорости к радиусу кривизны траектории в точке касания. При движении по окружности радиус кривизны траектории равен радиусу окружности. Следовательно,

$$a_n = a_c = \frac{v^2}{R}$$

Полное ускорение является суммой векторов вращательного и центростремительного ускорений. Так как вращательное ускорение равно нулю, то полное ускорение совпадает с центростремительным, то есть

$$\vec{a} = \vec{a}_{вр} + \vec{a}_n = 0 + a_n.$$

Сила инерции, приложенная в центре масс всей системы (платформа вместе с грузом), по величине равна произведению массы системы на полное ускорение и направлена противоположно этому ускорению.

Так как эта сила инерции направлена горизонтально на некоторой высоте H над горизонтальной опорной площадкой, то эта сила создаёт «опрокидывающий момент». «Опрокидывающий момент» стремится наклонить и опрокинуть платформу на бок вокруг прямой, проходящей по краю опорной площадки. Обычно эта прямая параллельна горизонтальной продольной оси движущейся платформы и параллельна скорости.

Известно, что момент силы равен произведению силы на плечо.

Следовательно, модуль опрокидывающего момента равен

$$F_{ин} \cdot H = m \frac{v^2}{R} \cdot H$$

Принимая ширину опорной площадки равной L , получаем плечо $L/2$.

Поэтому модуль удерживающего момента равен $P \cdot \frac{L}{2} = mg \cdot \frac{L}{2}$.

Необходимо выполнять *условие боковой устойчивости*:

$$m \frac{v^2}{R} \cdot H \leq P \cdot \frac{L}{2} \quad (1)$$

Следовательно, скорость движения не должна превышать *максимально допустимую скорость*:

$$v \leq v_{\max} = \sqrt{\frac{gLR}{2H}} \quad (2)$$

Например, условие (1) выполнится при увеличении максимально допустимой скорости на 10 % $((1.1v)^2 = (121/100)v^2)$ и одновременном увеличении ширины опорной L площадки на 21 % $((121/100)L = 1,21L)$.

Следует заметить, что при резких поворотах (при резком изменении направления движения), то есть при малых радиусах кривизны траектории, условие боковой устойчивости будет нарушаться и будет иметь место опрокидывание платформы на бок.

Так как минимально допустимый радиус кривизны траектории пропорционален квадрату скорости, то при увеличении скорости движения в 3 раза, например с 30 км/ч до 90 км/ч, минимально допустимый радиус поворота увеличивается в 9 раз. Следовательно, управлять уклонением платформы от препятствия надо существенно осторожнее уменьшая управляющие воздействия.

Таким образом, обнаружена *первая опасная зона* – *зона боковой неустойчивости*, в которую попадать нельзя, то есть нельзя резко поворачивать, нельзя создавать слишком малый радиус кривизны траектории, так как нарушится условие боковой устойчивости и платформа упадет на бок.

Выводы и практические рекомендации

1. При резких поворотах (при резком изменении направления движения), то есть при малых радиусах кривизны траектории, условие боковой устойчивости будет нарушаться и будет иметь место опрокидывание платформы набок.

2. Для увеличения на 10 % максимально допустимой скорости движения, исключающей опрокидывание платформы на бок (при сохранении высоты центра тяжести H всей системы и радиуса R кривизны траектории), надо ширину L опорной площадки увеличить на 21 %.

3. Скорость движения беспилотной платформы не должна превышать *максимально допустимую скорость, определяемую из условия боковой устойчивости*.

4. При движении беспилотной платформе нельзя попадать в первую опасную зону, где нарушается условие боковой устойчивости и появляется боковое опрокидывание.

Список литературы

1. Беспилотная снегоходная транспортная платформа со смещаемым центром тяжести: патент на полезную модель № RU159557 / Кудрявцев И. А., Созонов А. Н., Дроздов Н. А., Кудрявцев А. И., Егоров А. В., Андрианов Ю. С., Андрианов Д. Ю. 2015.
2. Андрианов Д. Ю. Беспилотная транспортная платформа со смещаемым центром тяжести // Материалы Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы - 2016» (МНТК «ИМТОМ - 2016»). Ч. 1. Казань, 2016. С.248-251.
3. Андрианов Д. Ю., Фищенко П. А. Форма опасных зон при движении беспилотной транспортной платформы // Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия: Технологическая. 2017, № 5, С. 209 - 306.

ОБ ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТРАНСМИССИИ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ НА ОСНОВЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К ЕЁ ЭЛЕМЕНТАМ

Асылгараева Г.Х.¹, Карабцев В.С.², Товштейн М.Я.¹

¹ Набережночелнинский институт Казанского (Приволжского) Федерального университета, 423823, г. Набережные Челны, проспект Мира, д.68/19

² Научно-технический центр ПАО «КАМАЗ», 423800, г. Набережные Челны, Транспортный проезд, 70

Аннотация. В прототип экспертной системы заносятся сведения о трансмиссии "КАМАЗа" и технических требованиях, предъявляемых к её составным частям. Знания профессионалов представляются онтологией - системой понятий и связей между ними.

Abstract. KAMAZ transmission data and technical requirements relevant to its components are recorded to the prototype of the expert system. The knowledge of professionals is represented by an Ontology – a specific set of concepts and categories showing the properties and connections between them.

Ключевые слова: экспертная система, база знаний, онтология, трансмиссия, грузовой автомобиль, технические требования.

Нас интересуют исследования, пользуясь которыми можно, во-первых, создать эффективную базу знаний [1] о грузовом автомобиле на определённых этапах его жизненного цикла, и, во-вторых, применить построенную базу знаний для существенного сокращения количества ссылок, получаемых пользователем при интернет-поиске.

В публикации [2] была показана высокая эффективность прототипа экспертной системы, в которой фиксировались сведения экспертов о структуре пока только одного узла автомобиля – бортовой информационно-управляющей системы «КАМАЗа». Наш поисковик благодаря ориентации на знания экспертов давал 100%-ное соответствие введённого интернет-запроса результату, полученному в виде ссылок на страницы сайтов, в то время как Google, Yahoo, Rambler и Яндекс не дотягивали до такого показателя 20 - 40 процентов.

В данном докладе речь пойдёт о другом узле грузовика – трансмиссии. Интересовать нас будет не только структура трансмиссии, но и требования, которым должны удовлетворять её составные части. Требования к автомобилям устанавливаются ГОСТами, ОСТАми, техническим регламентами. Описаны эти требования в таком большом количестве документов, что даже интернет-поиск нужного параметра и документа, где этот параметр показан, может занять у специалиста (конструктора, технолога, эксплуатационника) значительное время. Например, на 154 ГОСТа (!) даны ссылки в перечне [3] стандартов, в результате применения которых обеспечивается соблюдение требований технического регламента ТР ТС 018/2011.

Технические требования к трансмиссии разделены на 4 группы [4]:

- эксплуатационные
 - высокая скорость движения
 - экономия топлива
 - надёжность
 - полное использование грузоподъёмности
 - приспособленность к климату
- производственные
 - высокая средняя скорость движения
 - малые материалоемкость, трудоёмкость и себестоимость изготовления
 - конструкторская и технологическая преемственность
 - высокая степень унификации агрегатов
- социальные / законодательные
 - высокая средняя скорость движения
 - по безопасности конструкции
 - по эргономическим показателям
 - по экологическим показателям
- конкурентоспособности
 - технологический уровень, удовлетворяющий международным требованиям
 - патентная чистота
 - обеспечение международного признания

Наша цель – создать базу знаний экспертной системы, позволяющей сотрудникам ПАО «КАМАЗ» оперативно получать сведения о технических требованиях к трансмиссии грузового автомобиля и ссылки на документы, где

эти требования указаны, Важно также выяснить эффективность такой базы знаний.

Известно [1], что профессиональные знания специалистов могут быть представлены в экспертной системе по-разному: предикатами, продукциями, фреймами, семантическими сетями, онтологиями. Мы остановили свой выбор на онтологической модели представления знаний, которая является некоторым обобщением семантической сети и фреймов.

Определений понятия «онтология» много [1, стр. 285], как и, кстати, определений понятия «информация» или «знание», так что каждая группа учёных выбирает то, которое подходит к области их исследований, или сочиняет своё. В сфере информационных технологий «онтология» – это система, состоящая из понятий и набора утверждений об этих понятиях. Эта формализация способствует такому пониманию предметной (профессиональной) области, с помощью которого благодаря общему тезаурусу могут общаться и люди, и компьютерные системы.

Для создания онтологии с помощью компьютера мы воспользовались программой Protégé 5.0 [5], графический сервис которой создаёт цветное изображение семантической сети (рис. 1).

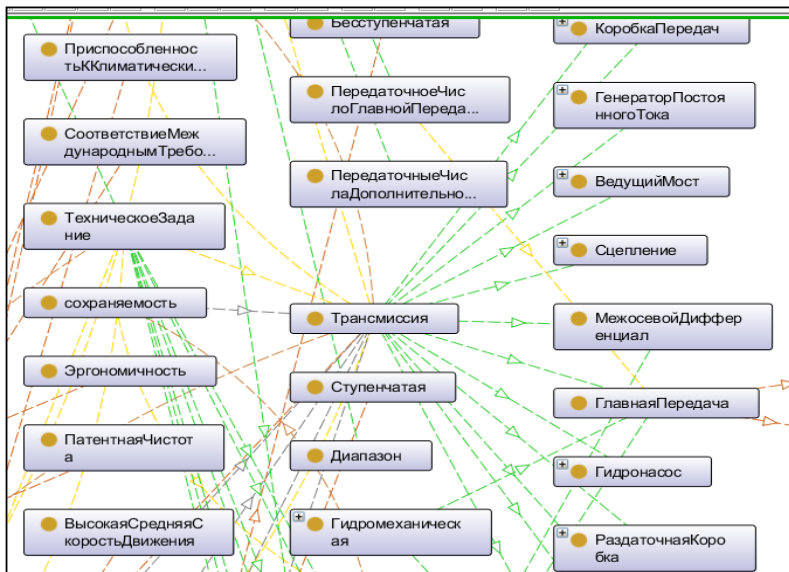


Рис.1. Фрагмент онтологии, построенный системой Protégé

На рисунке 1 можно увидеть, что в трансмиссии есть генератор постоянного тока, ведущий мост, сцепление, межосевой дифференциал и т.д., что трансмиссия должна иметь высокую среднюю скорость движения, патентную чистоту, эргономичность и т.д. Зависимость одного понятия от

другого устанавливается связями типа «влияетНа», «зависитОт», «состоитИз», «имеетТип», «описывает» и др. Пример этих связей показан на рисунке 2.

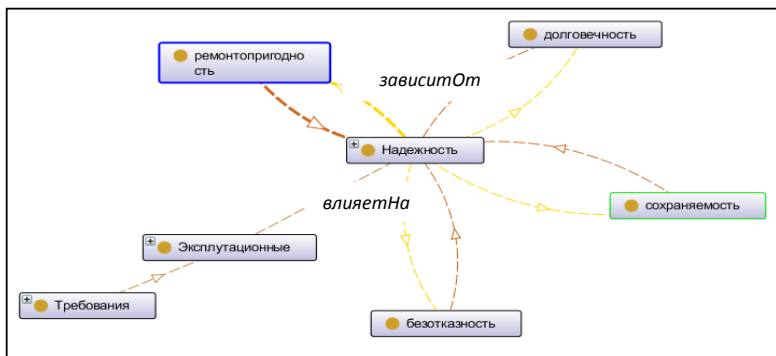


Рис. 2. Пример связей между элементами трансмиссии и требованиями к ним

Установленные в базе знаний связи между понятиями позволяют создавать запросы с помощью языка SPARQL, похожего на язык SQL запросов к реляционным базам данных. Пример такого запроса показан на рисунке 3

```

PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX : <http://www.semanticweb.org/ontologies/2016/4/Ontology1462121048864.owl#>
SELECT ?Надежность
WHERE {
?Надежность rdfs:subClassOf ?object.
?object owl:onProperty :ВлияетНа.
?object owl:someValuesFrom :Надежность.
}

```

| Надежность |
|-------------------|
| безотказность |
| долговечность |
| ремонтпригодность |
| сохраняемость |

Рис.3. Запрос про эксплуатационные требования к надёжности трансмиссии

В результате этой работы мы ещё раз убедились, что онтология - отличный способ представления знаний и что система Protege - удобный инструмент для работы с ней. Создана онтология для определения некоторых требований к трансмиссии автомобиля и разработаны запросы для решения первоочередных задач заказчика. Работа актуальна, но требует:

- больших трудозатрат при поиске документации и перевода её в базу знаний экспертной системы,

- серьёзных компьютерных ресурсов,
- многих часов совместной работы экспертов-сотрудников ПАО «КАМАЗ», когнитолога и программистов (например, сотрудников НЧИ КФУ).

Литература

1. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.
2. Товштейн М.Я., Сунгагуллин Л.И. Возможность применения онтологической модели автомобиля в базе знаний//Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. – 2016. - № 2 (69). – С. 52-63.
3. Перечень стандартов, в результате применения которых обеспечивается соблюдение требований технического регламента «О безопасности колесных транспортных средств» – URL: http://sudact.ru/law/reshenie-komissii-tamozhennogo-soiuz-a-ot-09122011-n_19/perechen-standartov-v-rezultate-primeneniia
4. Гришкевич А.И. Проектирование трансмиссий автомобилей. Справочник - М.: Машиностроение, 1984 – .272 с.
5. Создание онтологии в Protégé 5.0. – .URL: <https://habrahabr.ru/post/277413/>

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ В СРЕДЕ DEFORM 3D

Л.Б. Баева

Карагандинский государственный технический университет
 Научный руководитель – д.т.н., профессор Г. С. Жетесова, к.т.н. Никонова Т.Ю.

В статье рассмотрен процесс обработки труднообрабатываемых материалов на примере титановых сплавов. Построена экспериментальная модель в программном комплексе «DEFORM», получены данные о температуре в зоне резания. На основании полученных данных рекомендованы оптимальные составы СОЖ.

При обработке заготовок из труднообрабатываемых материалов одной из главных проблем является быстрое изнашивание режущего инструмента в результате интенсивного теплообразования в зоне резания. В тяжелых условиях обработки для повышения работоспособности инструмента необходимо не только оптимально выбирать режимы резания, но и в обязательном порядке использовать в качестве теплоотвода смазочно-охлаждающую жидкость (СОЖ).

Одним из главных критериев выбора СОЖ является температура в зоне резания. На основе анализа имеющихся данных об оптимальных режимах резания труднообрабатываемых материалов поставлены следующие задачи исследования:

- используя вычислительный комплекс «DEFORM», определить температуру в зоне резания;
- на основании полученных температур произвести выбор СОЖ для данных условий резания.

Для решения задач и определения температуры в зоне резания необходимо совместное решение уравнений теплопроводности и равновесия деформируемого объема с учетом зависимости свойств материала от искомым параметров его состояния. В настоящее время при решении подобных задач используется метод конечных элементов (МКЭ), позволяющий получить приближенное решение при заданных функциях, аппроксимирующих зависимости свойств материала от условий его деформирования [1].

Инженерный комплекс «DEFORM» позволяет варьировать параметры режимов резания в зависимости от свойств выбранного материала заготовки и геометрических параметров режущего инструмента.

В нашем случае в качестве труднообрабатываемого материала был выбран титановый сплав ВТ6.

В качестве режущего инструмента – стандартные четырехгранные пластины твердого сплава. Параметры режима резания приняты, основываясь на содержании научно-технической литературы [2, 3]. Схема эксперимента в «DEFORM» представлена на рисунке 1.

Авторами были назначены следующие режимы резания:

- скорость резания $v_{рез} = 2 - 100$ м/мин;
- продольная подача $s = 0,1 - 0,3$ мм/об;
- глубина резания $t = 1$ мм.

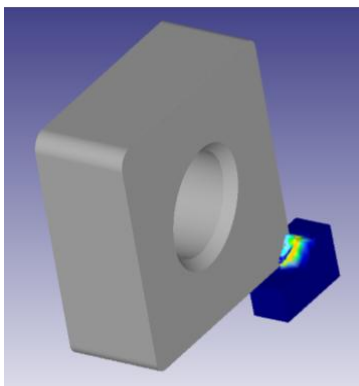


Рисунок 1 – Схема эксперимента в «DEFORM»

Таким образом, экспериментальные значения температуры резания $T_{рез}(C^{\circ})$ для глубины резания $t = 1$ мм представлены в таблице 1.

Таблица 1

Экспериментальные значения $T_{рез}(C^{\circ})$, полученные в программном комплексе «DEFORM» при глубине резания $t = 1$ мм

| Скорость резания ($v_{рез}$), м/мин | $T_{рез}(C^{\circ})$ при продольной подаче | | |
|--|--|---------------|---------------|
| | $s=0,1$ мм/об | $s=0,2$ мм/об | $s=0,3$ мм/об |
| 2 | 318 | 324 | 330 |
| 20 | 667 | 688 | 671 |
| 40 | 793 | 792 | 769 |
| 60 | 872 | 858 | 859 |
| 80 | 937 | 930 | 921 |
| 100 | 996 | 968 | 947 |

Главной причиной выделения тепла при обработке сплавов, содержащих титан, является пластическая деформация и трение. Согласно экспериментальным данным, приведенным в таблице 1, можно сделать вывод, что на температуру в зоне резания значительное влияние оказывает скорость резания ($v_{рез}$).

Повышенная интенсивность износа режущего инструмента в данном случае вызвана двумя причинами:

1. Титановые сплавы обладают выраженной истирающей способностью из-за наличия в них высокотвердых включений в виде окислов нитридов и карбидов, поэтому при пониженных скоростях резания возникает абразивный износ.

2. Наличие высоких значений температур граничных слоев при обработке титановых сплавов на повышенных скоростях резания, что приводит к быстрому разрушению режущей кромки инструмента.

Для повышения производительности обработки титановых сплавов и улучшения качества поверхности рекомендуется высокоскоростная обработка (BCO). Однако в этом случае необходимо защитить режущий инструмент от значительных температурных нагрузок для предотвращения его быстрого износа. Поэтому необходима непрерывная подача СОЖ, так как температурные перепады спровоцируют еще более интенсивный износ, ведь, как известно, для инструмента постоянная тепловая нагрузка лучше, чем меняющаяся циклическая нагрузка.

Учитывая вышеперечисленные факторы, авторами рекомендованы следующие марки СОЖ для обработки титановых сплавов:

- TRIM® MicroSol® 585XT – полусинтетическая микроэмульсия, обладающая одновременно высоким смазывающим и охлаждающим эффектом;
- FUCHS ECOCOOL 4100 - высококачественная водосмешиваемая смазывающе-охлаждающая жидкость, содержащая минеральное масло;

– КОНЦЕНТРАТ СОЖ «МОДУС-М»/«MODUS-M» - полусинтетическая водосмешиваемая универсальная смазочно-охлаждающая жидкость с содержанием 50% минеральных и эфирных масел, которая предназначена для любых видов лезвийной обработки титановых и жаропрочных сплавов.

Таким образом, ВСО титановых сплавов рекомендуется проводить на скоростях, не превышающих 100м/мин с использованием непрерывно подающейся в зону резания СОЖ.

Список использованной литературы

1. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы / Пер. с англ. –М.: Мир, 1984.
2. Ипатов Н.С. Влияние высокоскоростного резания на качество поверхности и размерную точность детали / Н.С. Ипатов, Л.С. Паокина. Рыбинск, 1992.
3. Косилова А.Г. Справочник технолога-машиностроителя. В 2–х т. Т. 2/ Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова 1986.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ МАЛОМОЩНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ.

Баженов Н.Г., Антипанова И.С., Пьянкова А.Д.

Казанский государственный энергетический университет,
420066, г.Казань, ул. Красносельская, 51

Аннотация: рассматривается работа по исследованию маломощных трансформаторов под нагрузкой; на основании экспериментальных данных показано, что коэффициент трансформации трансформатора (при отключенной нагрузке), в некотором диапазоне токов в первичной обмотке имеет постоянное значение.

Annotation: Is considered on the investigation of low-power transformers under load; on the basis of experimental data, it is shown that the transformation ratio of the transformer (if you disable the load) - in some range of the current in the primary winding has a constant value.

Ключевые слова: электрические потери, статические индуктивности.

В процессе расчета трансформатора (T_p), должно быть обеспечено оптимальное соотношение между электрическими и магнитными преобразованиями. При этом габаритные и весовые характеристики T_p могут быть несколько увеличены. [1].

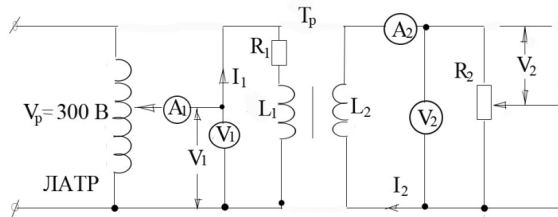


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

В экспериментальной установке использовался трансформатор типа ТН-46-220-50 со следующими характеристиками: мощность $P=58$ Вт.; входное напряжение $U_{вх} = 220$ В; частота 50 Гц. ; $U_{вых}$ - выходное напряжение на вторичной обмотке; L_1, L_2 - статические индуктивности первичной и вторичной обмоток, которые определяются с помощью классических LC-метров, при отключенном от сети и нагрузке T_p .

Статические индуктивности связаны с габаритной мощностью и не связаны с токами, протекающими по обмоткам. Динамические индуктивности [1] конкретно связаны с токами. Трансформатор в простейшем виде представляет собой – магнитопровод МП, на котором размещены две обмотки с разным количеством витков. Тр типа ТН-46 имеет следующие значения: $L_{10} = 2,74$ Гн; $L_{20} = 0,0441$ Гн; $I_{вх} = 0,0495$, при $U_{вх} = 220$ В, $I_{max} = 0,32$ А- максимально допустимый ток в первичной обмотке.

В таблице 1 приведены результаты выходных параметров Тр на холостом ходу, при изменении входного напряжения в диапазоне от 50 до 280 Вольт [1] Точность показаний приборов измерения и проведенных расчетов находится в пределах $(1 \div 2)\%$. Из анализа приведенных данных следует:

-во-первых, в диапазоне напряжений $80 \div 276,3$ В выполняется классическое равенство для определения коэффициента трансформации (K), т.е.

$$K = \sqrt{\frac{L_{10}}{L_{20}}} = \frac{U_{вх}}{U_{max}} = \frac{220}{28,2} = 7,85 \quad (1)$$

До напряжения 80 В коэффициент трансформации $K > 7,85$, а при напряжении больше 276 В - он меньше величины 7,85. Напряжение 275 В является предельным. Соответственно порождает ток в цепи первичной обмотки, равный 0,32 А. Согласно [2], в оптимальном режиме работы Тр ток короткого замыкания выразится зависимостью $I_k = 0,32 \cdot K = 2,51$ А.

При коротком замыкании - когда магнитопровод (МП) полностью размагничен - коэффициент передачи по току (K_i) оказывается, равным K . При этом легко рассчитывается активное сопротивление первичной обмотки, т.е.:

$$R_1 = \frac{6,5}{0,32} = 20,3 \text{ Ом, что подтверждается измерением Омметром;}$$

- во-вторых, мощность Тр на холостом ходу (P_x), как принято в настоящее время- характеризует потери в стали. Следовательно, с повышением значения тока, согласно табл.1, эти невосполнимые потери возрастают. Причем в

первичной обмотке имеются и активные потери, т.е.: $P_a = I_1^2 \cdot R_1$, как следует из приведенной формулы они тоже зависят от тока.

Поскольку ток холостого хода в основном определяется индуктивностью обмоток Тр (L_{10}, L_{20}), то из этого можно сделать вывод - о необходимости повышения индуктивностей обмоток Тр [2]. Но как отмечалось выше, статические индуктивности в большей степени связаны с геометрическими размерами магнитопровода и практически не связаны (для разных значений токов) с электромагнитными преобразованиями. В общем случае индуктивность определяется зависимостью

$$L = N^2 \mu_a \cdot \frac{S}{l} \quad (2)$$

где N - число витков в обмотке; μ_a - абсолютная магнитная проницаемость материала МП; S, l -площадь сечения и средняя длина МП, соответственно.

Согласно (2), повысить индуктивность можно несколькими подходами. Однако, увеличение числа витков (N) ведет к повышению активных потерь (P_a), повышение площади сечения МП- к возрастанию массовых и габаритных характеристик, что входит в противоречие с основным законом проектирования Тр. Казалось бы наиболее эффективным направлением в этом вопросе является выбор оптимальной характеристики для абсолютной магнитной проницаемости (μ) сталей МП. Согласно криволинейной, основной кривой намагниченности μ_a определяется $\mu_a = \frac{dB}{dH}$, где B - магнитная индукция; $H=N \cdot I$ - напряженность магнитного поля МП.

В связи с изложенным, в случае необходимости повышения индуктивностей обмоток Тр остается два пути.

1. Если, например, ярма Тр выполнить в форме полудуг и сечением, равным площади сечения обмоток, то индуктивности (L_{10}, L_{20}) возрастают на величину, равную $(\frac{1}{5} \div \frac{1}{4})$ их первоначального значения. При таком подходе потери в углах стыках стержней МП снижаются.

2. Вводить автоматическое подмагничивание МП, как это выполняется в линейном Тр [2].

В таблице 2 приведены результаты нагрузочных испытаний того же Тр при входных напряжениях 140 и 220 Вольт. В качестве нагрузки R_2 (рис.1) использовались резисторы типа ППВР-25, с сопротивлением $R_2 = 33 \pm 5\% \text{ Ом}$.

Из анализа приведенных данных (в табл.2) следует:

Во-первых, в Тр, как уже отмечалось, необходимо различать статические индуктивности (L_{10}, L_{20}) и приведенные или динамические индуктивности (L_1, L_2). Причем всегда выполняется равенство [1]

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{I_2 U_2}{I_1 U_1} \quad (3)$$

где $U_1, U_2; I_1, I_2$ -действующие значения напряжений и токов в соответствующих обмотках. Принимая во внимание (рис.1), что $|\omega L_2| = R_2$, где ω -угловая частота переменного тока, то отношение коэффициентов по току и

напряжению, т.е. $\frac{I_2}{I_1} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{1}{\eta_L} = 1$ имеет наименьшую величину. При этом коэффициент η_L характеризует степень преобразования электрической энергии в магнитную;

- Во-вторых, наибольшее значение отмечается, когда: $\frac{L_{10}}{L_{20}} = \frac{L_1}{L_2}$ (4),

откуда- с учетом (3), находим $L_1 = \frac{R_2 L_{10}}{\omega L_{20}} = 0,198 R_2$, $\frac{L_{10}}{L_{20}} = \frac{I_2 U_1}{I_1 U_2}$ (5)

-В-третьих, из анализа табл. 2 следует, что максимальный ток во вторичной обмотке (полученный выше, 2.51А) можно получить, как при напряжении на первичной обмотке $U_1=140В$ и нагрузке на вторичной обмотке $R=6,6$ Ом, так и при напряжении на первичной обмотке $U_1=220В$ и нагрузке на вторичной обмотке 11.0 Ом.

Из анализа той же табл.2 следует, что при выполнении равенств (4 и 5) к.п.д. Тр небольшая. При этом токи в первичной и во вторичной обмотках близки к противофазным. Иными словами, любой Тр должен проектироваться исходя из реальных нагрузок.

Таблица 1.Результаты испытаний Тр на холостом ходу.

| $U_{вх}В$ | $I_{вх}А$ | $U_{вых}В$ | R Ом | $I_{вых}А$ | ωL_2 Ом | L_{10} Гн | ωL_2 Ом | L_{20} Гн | $\sqrt{\frac{L_{10}}{L_{20}}}$ | $\frac{I_{вых}}{I_{вх}}$ | $\frac{U_{вых}}{U_{вх}}$ |
|------------------------|-----------|------------|--------|------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 50 | 0,008 | 5,6 | - | - | 6250,0 | 19,9 | - | - | - | - | 8,9286 |
| 70 | 0,01 | 3,0 | - | - | 7000 | 22,293 | - | - | - | - | 8,75 |
| 80 | 0,0115 | 10,0 | - | - | 6956,5 | 22,155 | - | - | - | - | 8,00 |
| 100 | 0,0145 | 12,56 | - | - | 6896,6 | 21,96 | - | - | - | - | 7,94 |
| 110 | 0,016 | 13,65 | - | - | 6875,0 | 21,855 | - | - | - | - | 8,05 |
| 120 | 0,0175 | 15,2 | - | - | 6857,14 | 21,838 | - | - | - | - | 7,895 |
| 140 | 0,0225 | 17,8 | - | - | 6222,2 | 19,82 | - | - | - | - | 7,909 |
| 150 | 0,0245 | 19,0 | - | - | 6122,45 | 19,5 | - | - | - | - | 7,895 |
| 160 | 0,0262 | 20,3 | - | - | 6106,9 | 19,45 | - | - | - | - | 7,882 |
| 170 | 0,0295 | 21,5 | - | - | 5762,7 | 18,353 | - | - | - | - | 7,9 |
| 180 | 0,0325 | 22,7 | - | - | 5538,46 | 17,638 | - | - | - | - | 7,93 |
| 190 | 0,0355 | 24,0 | - | - | 5352,1 | 17,045 | - | - | - | - | 7,92 |
| 200 | 0,0385 | 25,3 | - | - | 5194,8 | 16,544 | - | - | - | - | 7,905 |
| 210 | 0,0435 | 26,5 | - | - | 4827,6 | 15,374 | - | - | - | - | 7,92 |
| 220 | 0,0495 | 28,2 | - | - | 4489,8 | 14,3 | - | - | - | - | 7,87 |
| 230 | 0,058 | 29,1 | - | - | 3965,5 | 12,63 | - | - | - | - | 7,903 |
| 240 | 0,08 | 30,4 | - | - | 3000 | 9,554 | - | - | - | - | 7,895 |
| 250 | 0,134 | 31,6 | - | - | 1865,7 | 5,942 | - | - | - | - | 7,91 |
| При коротком замыкании | | | | | | | | | | | |
| 6,5 | 0,32 | 0 | - | 2,51 | - | - | - | - | - | 7,84 | ∞ |

Таблица 2. Результаты нагрузочных характеристик Тр

| U_1 (В) | I_1 (А) | U_2 (В) | R_2 (Ом) | I_2 (А) | ωL_1 (Ом) | L_1 (Гц) | ωL_2 (Ом) | L_2 (Гц) | $\sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$ | $\frac{I_1}{I_2}$ |
|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|----------------------|---------------|----------------------|---------------|--------------------------|-------------------|
| 140 | 0,02 | 17,8 | ∞ | | | | | | | |
| | 0,08 | 17,2 | 33 | 0,58 | 1647, | 5,245 | 29,66 | 0,0944 | 7,45 | 6,823 |
| | 0,15 | 16,9 | 16,5 | 1,1 | 909,1 | 2,895 | 15,364 | 0,0489 | 7,592 | 7,143 |
| | 0,22 | 16,4 | 11,0 | 1,7 | 622,22 | 1,981 | 9,647 | 0,0307 | 8,034 | 7,556 |
| | 0,28 | 15,8 | 8,25 | 2,16 | 500,0 | 1,592 | 7,315 | 0,0233 | 8,267 | 7,714 |
| 220 | 0,04 | 28,9 | ∞ | | | | | | | |
| | 0,12 | 27,2 | 33 | 0,84 | 1774,1 | 5,650 | 32,381 | 0,1031 | 7,402 | 6,774 |
| | 0,21 | 26,5 | 16,5 | 1,57 | 1047,6 | 3,336 | 16,879 | 0,0538 | 7,875 | 7,476 |
| | 0,31 | 25,3 | 11,0 | 2,35 | 709,68 | 2,26 | 10,776 | 0,0343 | 8,117 | 7,581 |
| | 0,39 | 24,7 | 8,25 | 3,00 | 564,1 | 1,796 | 8,233 | 0,0862 | 8,281 | 7,692 |

Таблица 3. Продолжение результатов нагрузочных характеристик Тр

| U_1 (В) | P_1 (Вт) | P_2 (Вт) | P_a | η <i>к.п.д.</i> | P_Σ | $\frac{U_1}{U_2}$ |
|--------------|---------------|---------------|--------|-------------------------|------------|-------------------|
| 140 | 11,9 | 9,976 | 0,1474 | 0,84 | 12,0414 | 8,14 |
| | 21,5 | 18,59 | 0,483 | 0,862 | 22,043 | 8,284 |
| | 31,5 | 27,88 | 1,033 | 0,883 | 32,533 | 8,537 |
| | 39,2 | 34,28 | 1,6 | 0,87 | 40,8 | 8,961 |
| 220 | 27,28 | 22,848 | 0,314 | 0,8375 | 27,594 | 8,088 |
| | 46,2 | 41,605 | 0,8996 | 0,9 | 47,0996 | 8,302 |
| | 68,2 | 59,45 | 1,96 | 0,87 | 70,5 | 8,6957 |
| | 85,8 | 74,1 | 3,103 | 0,863 | 88,9 | 8,907 |

Литература и примечания:

- [1] Тихомиров П.М. «Расчет трансформаторов». М: Энергоатомиздат, 1986. 490с.
- [2] Ермаков И.И., Киселев В.В. «Обобщенная теория электрических и магнитных цепей». Казань: КВКАУ, КГЭУ, 2007. 126с.
- [3] Антипанова И.С., Пьянкова А.Д. «Исследование динамических свойств трансформаторов». Мир науки, 2017. с 531.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИЗДЕЛИЯ

И.Б. Бахшиев

Карагандинский государственный технический университет
 Научный руководитель – PhD В.В. Юрченко, к.т.н. Никонова Т.Ю.

В статье рассмотрены пути оптимизации процесса технологической подготовки производства изделий с использованием систем управления

жизненным циклом изделия. В завершении статьи были выделены причины необходимости использования систем управления жизненным циклом изделия.

In the article optimization ways of technological preparation process of products manufacturing with the usage of control systems product's life cycle are considered. In the end of this article the reasons of need of use control systems product's life cycle have been allocated.

Ключевые слова: машиностроение, подготовка, система, автоматизация, управление.

Существенное значение для результата производства любого промышленного предприятия имеет правильно разработанный процесс технологической подготовки производства. ТПП состоит из следующих процедур:

- нормирование расхода основных и вспомогательных материалов, комплектация всех сборочных единиц изделия;
- планирование технологической подготовки производства, проектирование и изготовление средств технологической оснастки;
- анализ разработанных технологических процессов и наладка технологической оснастки;
- выдача заданий на проектирование, изготовление, наладку оснастки;
- разработка технологических процессов изготовления деталей и сборочных единиц.

Доля технологической подготовки производства (ТПП) от общего объема всех подготовительных работ составляет от 50 % до 80 % [1].

Основные сегодняшние проблемы ТПП в отечественном машиностроении состоят в следующем:

- эксплуатация множества единиц устаревшего технологического оборудования, вследствие чего замедляются процессы ТПП и снижается ее качество;
- проектирование во многих случаях производится вручную, имеющиеся средства автоматизации используются для решения лишь отдельных задач, так как нет комплексной системы автоматизации;
- обмен информации между специалистами и службами технологической подготовки производства осуществляются в основном на бумажных носителях, что приводит к общему замедлению всех процессов ТПП;
- решение задач обеспечения технологичности конструкции начинается на поздних стадиях проектирования изделия, отсюда многочисленные изменения в конструкторской документации;
- организационные структуры предприятия в своей работе ориентированы не на потребителя, а на выполнение приказов «сверху»;
- отсутствие эффективной специализации и кооперации с другими предприятиями при решении задач технологической подготовки производства.

В результате вышеизложенных затягиваются сроки изготовления новых изделий в производство, неоправданно увеличиваются затраты [1].

Для обеспечения конкурентоспособности, машиностроительные предприятия должны постоянно осваивать автоматизацию проектирования и выпуск новых изделий, в соответствии с требованиями заказчиков. Сокращение времени вывода на рынок нового изделия и, тем самым, повышение эффективности производства, машиностроительным предприятиям позволяет применение систем управления жизненным циклом изделия и информационной системы в качестве инструмента реализации технологической подготовки производства [1].

Основными процессами жизненного цикла изделия являются проектирование, производство, эксплуатацию, утилизацию. Каждый из основных процессов можно разделить на множество других. Так, например, процесс проектирования состоит из научно-исследовательских работ и опытно-конструкторских разработок, конструкторской и технологической подготовки производства, планирования производства нового изделия и т.д.

В результате использования систем управления жизненным циклом изделия предприятие имеет следующие преимущества:

- усовершенствованное моделирование и оптимизацию планирования технологических процессов, что упрощает планирование технологических операций и параллельное проектирование деталей, оптимизацию производства, использование шаблонов по технологическим процессам, создание безопасных и эффективных технологических операций с участием человека и рациональное использование имеющихся ресурсов;

- совершенствование процессов проектирования и технологической подготовки производства, вследствие чего сокращаются сроки выпуска продукции на рынок, окупаемости продукции, упрощается процесс управления и принятия решений;

- непрерывный обмен технологической информацией на всем предприятии, что дает возможность обеспечивать доступность данных о технологических процессах, операциях и инженерных анализах для проверки того, что изделия производятся в соответствии с техническими требованиями и по наиболее оптимальной технологии;

- эффективное управление различными вариантами и обеспечение согласованного производственного процесса на разных сборочных линиях.

Благодаря применению технологических данных на начальных этапах жизненного цикла изделия в широком ряде структур моделирования можно оценить длительность цикла производственного процесса, сбалансировать рабочую нагрузку на разных стадиях и предварительно проверить технологические процессы для множества установленных производственных сценариев.

Решение коллективной задачи по технологической подготовке производства дает возможность производственно-техническому отделу, руководителям цехов и линейному персоналу быть ключевой частью процесса PLM. Они могут получить доступ ко всей информации в соответствии со своей

деятельностью и оставить свои примечания относительно конструкции и технологии производства изделия [2].

Программные решения для сложных изделий объединяют технологическую подготовку производства и проектирование таким образом, что технологический процесс изготовления изделия унифицируется, а производство становится непрерывным и менее трудоемким. Как результат в сложных условиях современного бизнеса машиностроительные предприятия могут процветать.

PLM система неразрывно связана с PDM системой, которая является организационно–технической системой, обеспечивающей управление всей информацией об изделии и связанных с ним процессах на протяжении всего его жизненного цикла – от проектирования и производства до снятия с эксплуатации.

Основными функциями PDM являются управление документами и документооборотом. Конструкторско–технологическая документация характерна своей разноплановостью и большими объемами. В процессе проектирования используют чертежи, конструкторские спецификации или ведомости применяемости изделий, ведомости материалов, различные отчеты, пояснительные записки и др. Кроме того, в интегрированных автоматизированных системах проектирования и управления документооборот включает в себя множество документов, связанных с такими процедурами, как маркетинговые исследования, снабжение, планирование, администрирование и т.п.. Необходимо обеспечить автоматический учет распространения и влияния вносимых в проект изменений на другие части конструкторско – технологической документации. Для подготовки, хранения и сопровождения технических данных, в том числе чертежей и схем, в PDM–системы включают специализированные системы управления документами и системы управления документооборотом [3].

Наличие единой базы конструкторских проектов, позволяет инженеру – проектировщику существенно экономить время на поиск идей, решений, разработок и т.д. Такая база данных является общедоступным архивом: в случае повторного заказа от клиента, менеджер без привлечения конструкторского бюро может найти необходимый конструкторский проект и запустить изделие в производство.

Из этого следует, что существует острая необходимость в создании единой, общедоступной базы данных по всем заявкам и проектам для производственно – технического отдела производственного предприятия.

Единая база данных и средства автоматизации системы позволяют организовать работу технологов, конструкторов и других специалистов предприятия в едином информационном пространстве. В особенности, это дает возможность конструкторам, технологам, нормировщикам и другим специалистам редактировать и использовать введенные ранее данные о различных видах операций, а также о необходимом приспособлении, инструменте, материале и др.

Вывод.

Исходя из вышеизложенного можно сделать выводы, что внедрение PLM систем необходимо на машиностроительных предприятиях. В силу того, что очень важно автоматизировать конструкторско–технологическое бюро, который является наиболее важной частью производства.

Использование PLM систем дает возможность управлять всеми производственными процессами, связанными с изделием, включающими в себя: состав и структуру изделия, используемые материалы, проектирование, 3D–модели, результаты инженерных анализов и расчётов, нормативные документы, различные решения, относящиеся к изделию и его согласованию, программы управления для станков с ЧПУ и другое, в соответствии с требованиями конкретного производственного процесса.

Результатом внедрения PLM–системы на машиностроительных предприятиях должна стать налаженная совместная работа отдельных структур предприятия, таких как отдел технического контроля, конструкторско–технологическое бюро, службы технической документации и других подразделений. Управление жизненным циклом изделия – основа эффективной комплексной автоматизации всего производства в целом.

Список использованной литературы

1. Реинжиниринг и автоматизация технологической подготовки производства в машиностроении. СПб: «Компьютербург», 2003. -152с.

2. А.Г. Братухин, Ю. В. Давыдов, Ю.С. Елисеев и др. CALS (Continuous Acquisition and Life Cycle Support - непрерывная информационная поддержка жизненного цикла изделия). М.: МАИ, 2000 – 348с.

3. Никонова Т.Ю., Юрченко В.В., Бахшиев И.Б. Анализ существующих автоматизированных систем обработки информации и управления для повышения эффективности технологической подготовки производства – Научно-технический журнал «Автоматика и информатика», Карагандинский государственный технический университет, 2017(№1) – С. 33–38

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНАШИВАНИЯ ПАР ТРЕНИЯ АКСИАЛЬНО-ПОРШНЕВЫХ НАСОСОВ ПРИ РАЗЛИЧНОМ УРОВНЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МАСЛА ВОДОЙ

Бударова Ольга Петровна, Белоусов Алексей Михайлович

Набережно-Челнинский институт (филиал) Казанского Федерального Университета, кафедра высокоэнергетических процессов и агрегатов; 423800, г. Набережные Челны, пр. Мира,13, к. 210

До недавнего времени расчеты надежности технических объектов выполнялись лишь в самых ответственных отраслях машиностроения, таких как самолетостроение или атомная энергетика, поскольку отказы оборудования

в летательных аппаратах или на АЭС приводят к катастрофическим последствиям. С другой стороны, в наши дни большое значение приобретают ресурсосберегающие технологии. Принципиально возможно, используя последние достижения в области теории надежности, прогнозировать возможные отказы элементов гидравлических систем с целью их предупреждения и (или) своевременного устранения. При этом могут быть существенно снижены аварийность и простой гидравлической техники на время капитального ремонта как в мобильных машинах, так и на производственно-технологических линиях.

Наименее освещенным в научно-технической литературе вопросом является изнашивание гидравлических аппаратов при попадании в рабочую жидкость воды. По данным опроса специалистов, обслуживающих гидросистемы технологического оборудования заводов «КамАЗ», попадание воды в гидросистемы происходит довольно часто и составляет по объему до 1..3%.

Для определения влияния воды, содержащейся в масле, на изнашивание поршней насосов PVB-10 («Vickers») были проведены их испытания на стенде КИ-4815М (рис. 1) в среде масла ИГП-18. В гидробак стенда КИ-4815М доливалась дистиллированная вода в установленном объеме, затем проводились испытания насосов PVB-10 при номинальном давлении 3МПа в течение 10 часов. Далее с помощью профилографа-профилометра «Talisurf-4» производилось продольное профилометрирование контрольных поршней для определения параметра шероховатости Ra . Для определения величины изношенного слоя выполнялось совместное наложение профилограмм цилиндрической поверхности поршней.

Интенсивность изнашивания по слою определялась как

$$I_h = \Delta h / L, \quad (1)$$

где Δh – толщина изношенного слоя; L – путь трения.

При рассмотрении изменения интегральной интенсивности изнашивания поршней насоса PVB – 10 по слою (рис. 2) наблюдалось ее возрастание при увеличении процентного содержания воды в масле, причем, вид зависимости

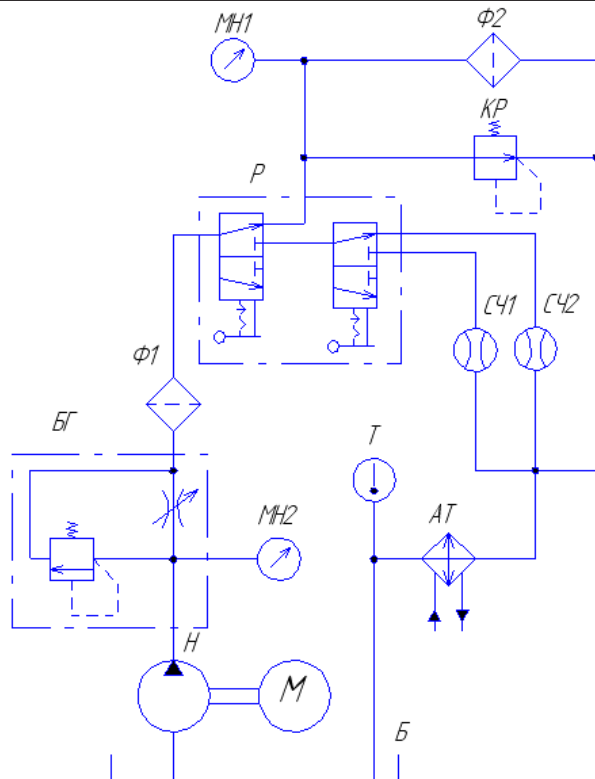


Рис. 1. Принципиальная гидравлическая схема стенда КИ-4815М
 Условные обозначения: Н – насос; М – мотор; БГ – блок гидравлический; Ф1, Ф2 – фильтры; Р – распределитель; КР – клапан редукционный; СЧ1, СЧ2 – расходомеры; АТ – теплообменник; МН1, МН2 – манометры; Б – гидробак; Т – термометр.

$I_h = f(C_B)$ соответствует степенной (показательной) функции типа $y = ax^n$, где показатель степени $0 < n < 1$. Функция продольной шероховатости, характеризующейся параметром Ra , при увеличении содержания воды в масле имеет такой же вид, что, по-видимому, подтверждает достоверность экспериментальных данных. Наличие постоянной тенденции к увеличению шероховатости с увеличением C_B говорит о катастрофическом изнашивании пар трения в данных условиях. Увеличение интегральной интенсивности изнашивания в 2 раза происходит при содержании воды $C_B = 0,1\%$ (по объему).

Ранее автором были проведены стендовые испытания насосов при загрязнении масла механическими примесями, которые показали, что существенное увеличение изнашивания поршней (в 2 раза) начинается при содержании механических примесей $C_m = 0,04\%$. Однако катастрофический износ с тенденцией к увеличению шероховатости поверхности происходит при $C_m \geq 0,05...0,06\%$. Существующие методы кондиционирования масел гидросистем технологического оборудования в целом позволяют справиться с проблемой загрязнения масел механическими примесями, а содержание их в количестве, большем, чем $0,05...0,06\%$ бывает сравнительно редким.

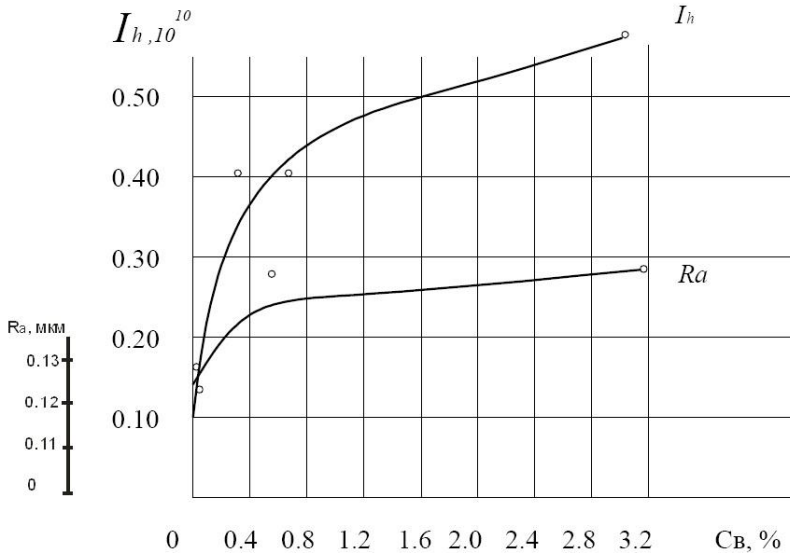


Рис. 2. Зависимость интегральной интенсивности изнашивания (I_h) и шероховатости поверхности (Ra) поршней насоса PVB-10 от содержания воды в масле (C_B)

Гораздо более опасным для работы гидроприводов технологического оборудования является попадание в гидробаки воды в любом количестве, хотя бы на уровне «следов» ($C_B \leq 0,01\%$), поскольку, как показали стендовые испытания, при этом шероховатость поверхности поршней имеет устойчивую тенденцию к увеличению, а износ возрастает по показательному закону и имеет значения, гораздо большие, чем при содержании механических примесей (при увеличении C_B от 0 до $0,5\%$ скорость изнашивания увеличивается в 30 раз).

Расчетный технический ресурс насоса *PVB* – 10 при содержании воды в масле в количестве 0,3...0,5% сокращается в 3 раза. Недопустимым последствием работы насоса в обводненном масле является проявление пластических деформаций, связанных, по-видимому, с локальным повышением температуры в зонах трения. Наличие пластических деформаций (рис. 3) указывает на «катастрофический» характер изнашивания поршней.



Рис. 3 Фрагмент поверхности поршня насоса *PVB* -10 после проведения испытаний в обводненном масле

Существующие модели изнашивания не могут всесторонне объяснить резкое увеличение износа рабочих органов поршневых гидромашин при попадании воды в гидросистему. Отсутствует методика прогнозирования износа при наличии воды и воздуха в рабочих жидкостях гидросистем. Подобная методика особенно актуальна при назначении технического ресурса гидроприводов, работающих на жидкостях типа «вода в масле» и «масло в воде». Авторами предложена методика расчета гидроэрозионного износа при кавитации, которая описывает изнашивание при загрязнении масла водой и воздухом с учетом термодинамических параметров потока при сжатии, и циклическом нагружении [2], которая дает результаты расчетов, практически совпадающие с экспериментальными данными.

Литература

1. В.А. Белый, А.И. Свириденко. Актуальные направления развития исследований в области трения и изнашивания. Трение и износ. Т.8, №1,
2. Бударова О.П. Методика расчета гидроэрозионного изнашивания пар трения аксиально-поршневых насосов при наличии воды и воздуха в рабочей среде / О.П. Бударова, С.В. Болдырев // Трение и смазка в машинах и механизмах. М.: Машиностроение, 2014. – № 9. – С. 10-14.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ СОЗДАНИИ МЕТОДИКИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ИЗДЕЛИЯ

Волкова И.И.,
ОАО «Зеленодольское ПКБ», инженер-конструктор
Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева, аспирант
г. Зеленодольск ул. К.Маркса 53, кв. 15
Email: galieva01@yandex.ru

В данной работе предложена методика обеспечения надежности и гарантированного ресурса изделия на этапе проектирования. В качестве примера взяты деформируемые ленты компенсирующей муфты.

In this paper, the technique of ensuring the reliability and security of resource products in the design phase. As an example, taken deformable tapes compensating couplings.

Ключевые слова и фразы: надежность; ресурс; деформируемое тело; упругий элемент; усталостная прочность; эквивалентные испытания.

Key words and phrases: reliability; resource; deformable body; the elastic element; fatigue strength; equivalent tests.

Цель данной работы состоит в создании научно-обоснованной методики расчета и проектирования упругих элементов машин и приборов при гарантированном обеспечении заданного ресурса, с учетом влияния технологий изготовления.

В качестве примера изделия взят упругий элемент - тяга компенсирующей муфты, которая нашла ограниченное применение в мощных приводах в условиях сложного напряжения.

Для того чтобы учесть механические геометрические и технологические особенности реальных изделий необходимо провести ускоренные испытания на этапе проектирования и выполнения расчетов.

С этой целью проектируется и изготавливается стенд.

Для экономии материала и производственных площадей, которые занимает испытательный стенд учет масштабного фактора выполнен путем введения коэффициента $Kl = 0,5$.

Для образцов основным критерием подобия выбран коэффициент Пуассона, который зависит не от размеров тела, а от природы материала, из которого изготовлен образец.

Моделируем в программе NX 8,5 компенсирующую муфту в двух положениях: без нагрузки и с нагрузкой (радиальное смещение фланцев ± 5 мм, осевое смещение ± 5 мм, излом $\pm 0,5$ °;) замеряем координаты упругого элемента в двух положениях. Находим разницу значений координат. В программе NX существует модуль SEMODES 103 – FlexibleBody («Гибкое тело»), который позволяет по приложенным внешним нагрузкам к детали оценить характер деформации упругих элементов конструкции. Определяем характер деформаций.- удлинение упругого элемента, $\Delta l = 0,452$, - угол

закручивания упругого элемента под действием смоделированных эксплуатационных нагрузок $\alpha=0,13^\circ$;

Первоначально необходимо убедиться в адекватности результатов предложенной методики. Для этого было испытано N образцов изготовленных фрезерованием из листового материала сплава ЗВ ТУ 1-5-357-75 Что позволило сделать вывод о том, что время разрушения тр образцов с концентратором в виде отверстий \varnothing 2мм имеет наиболее постоянный характер.

После того как выбран концентратор напряжения, проводятся испытания для сравнения различных методов изготовления и упрочнения, используемых при изготовлении, и их влияние на ресурс изделия в целом.

Для наглядности обозначим на кривой усталости результаты испытаний (Рис. 1)

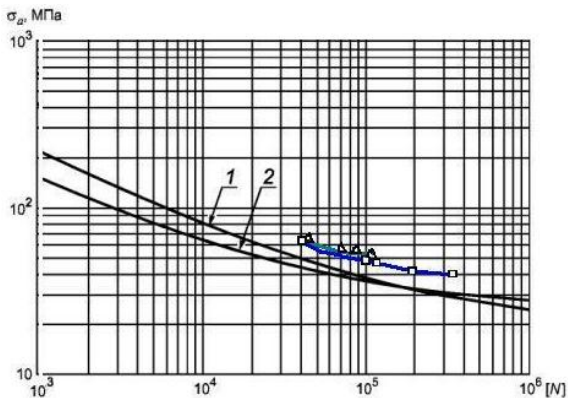


Рис. 1 - 1-ВТ1-0, ВТ1-00.

Δ –образцы вырезанные лазером из листового материала без упрочнения поверхности;

□ –образцы вырезанные лазером из листового материала с упрочненной поверхностью.

Полученные результаты вышли на расчетную кривую усталости для титановых сплавов представленной в ГОСТ Р 52857.6-2007, что свидетельствует о достоверности результатов эксперимента.

Для того чтобы убедиться в корректности полученных результатов проводятся сравнительные расчеты аналогичных образцов в программе NX.

Далее проверяем равенства средних значений в двух выборках т.е. полученные значения ресурса в эксперименте и при сравнительном расчете в среде. В данной работе наблюдаемые различия статистически не значимы, что позволяет сделать вывод о корректности и достоверности расчетов выполненных в компьютерной программе.

Воспользуемся модулем Advanced Simulation программы NX - NX расширенная симуляция чтобы учесть данные, полученные экспериментально, в инженерных расчетах на этапе проектирования.

NX Advanced Simulation обеспечивает полную ассоциативность расчетных моделей с CAD-моделями, что позволяет специалисту быстро вносить изменения в конструкцию и соответственно в расчетную модель [2].

Чаще всего базы подобного рода программ отсутствуют либо не наполнены, как в данном случае. Используемые в данной работе образцы упругих элементов изготовлены из титанового сплава ВТ 1-0 ГОСТ 22178-76 и из конструкционной стали СтЗсп ГОСТ 380-2005. Этих сталей нет в библиотеке материалов NX Расширенная симуляция. В базе, при создании нового материала, помимо ввода соответствующих физико-механических свойств материалов, задается определенный экспериментально показатель долговечности - средний ресурс и для каждого из технологических методов обработки образцов, что обеспечивает учет влияния технологических параметров. В результате расчета выявляется коэффициент запаса.

Результат расчетов и их анализ позволяет выбрать материал и технологию обработки, которые обеспечивают необходимый ресурс упругого элемента.

Заключение.

В работе предложен метод технологического обеспечения надежности изделия на примере плоского упругого элемента. Основные этапы метода:

- 1) Определить характер деформаций элемента от эксплуатационных нагрузок.
- 2) По выявленному характеру деформаций спроектировать испытательный стенд.
- 3) Провести эквивалентные (сокращенные) испытания на партиях образцов, изготовленных различными технологическими методами.
- 4) Провести сравнительный расчет аналогичных образцов в компьютерной программе.
- 5) Убедиться в корректности расчетов, в компьютерной программе скорректировать базы данных материалов, добавлением тех, из которых изготовлены образцы. В результате расчета выявить коэффициент запаса, который позволит точно оценить показатель надежности – назначенный ресурс изделия, с учетом технологии.

2. Разработана методика проведения эквивалентных сравнительных испытаний плоских упругих элементов на ресурс. Основные этапы методики:

- 1) Для сокращения времени испытаний разрабатываются мероприятия по их ускорению при неизменном критерии предельного состояния детали.
- 2) С целью экономии мощностей и лабораторных площадей испытания проводятся на образцах уменьшенных размеров. Для перехода к натурным деталям используется теория подобия.
- 3) Испытываются плоские упругие элементы, изготовленные с применением различных технологических методов.

Список литературы.

1. Андреева Л.Е., Пономарев С.Д. Расчет упругих элементов машин и приборов. - М.: Машиностроение, 1980. - 326 с.
2. Гончаров П. С., Артамонов И. А., Халитов Т. Ф., Денисихин С. В., Сотник Д. Е. NX Advanced Simulation. Инженерный анализ. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 504 с.: ил. ISBN 978-5-94074-841-0.

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ПРОЦЕССА ПРЕЦИЗИОННОЙ ШТАМПОВКИ ЗУБЧАТЫХ КОНИЧЕСКИХ КОЛЕС

Гавариева К.Н.¹, Симонова Л.А.¹, Панкратов Д.Л.¹, Шибиков В.Г.¹, Гавариев Р.В.².

¹Казанский федеральный университет

²Казанский национальный исследовательский технический университет им.
А.Н. Туполева

Аннотация: в статье рассматривается возможность применения интеллектуальной системы управления параметрами технологического процесса прецизионной штамповки и механизмами кривошипных горячештамповочных прессов.

Ключевые слова: прецизионная штамповка, интеллектуальное управление, многоагентная система, агент.

Annotation: the article considers the possibility of using an intelligent control system for the parameters of the precision forging process and the mechanisms of crank hot-stamping presses.

Keywords: precision stamping, intelligent control, multi-agent system, agent.

Современные металлосберегающие технологии нацелены на повышение коэффициента использования материала и получение качественных изделий. Так, изготовление зубчатых конических колес (ЗКК) соответствующих 5-6 качеству точности возможно только прецизионной штамповкой. Получаемые таким образом изделия, по своей форме и габаритам предельно близки к готовой детали и имеют минимальные припуски, либо вообще не нуждаются в дальнейшей механической обработке [1].

Для обеспечения высокой точности изготовления деталей необходимо максимально устранить негативное влияние случайных погрешностей, влияющих на технологический процесс, что достигается автоматизацией [2].

Как известно, наиболее подходящим способом автоматизации процесса прецизионной штамповки ЗКК является создание и внедрение многоагентной интеллектуальной системы управления параметрами технологического

процесса (температура заготовки) и механизмами кривошипных горячештамповочных прессов (рисунок 1).

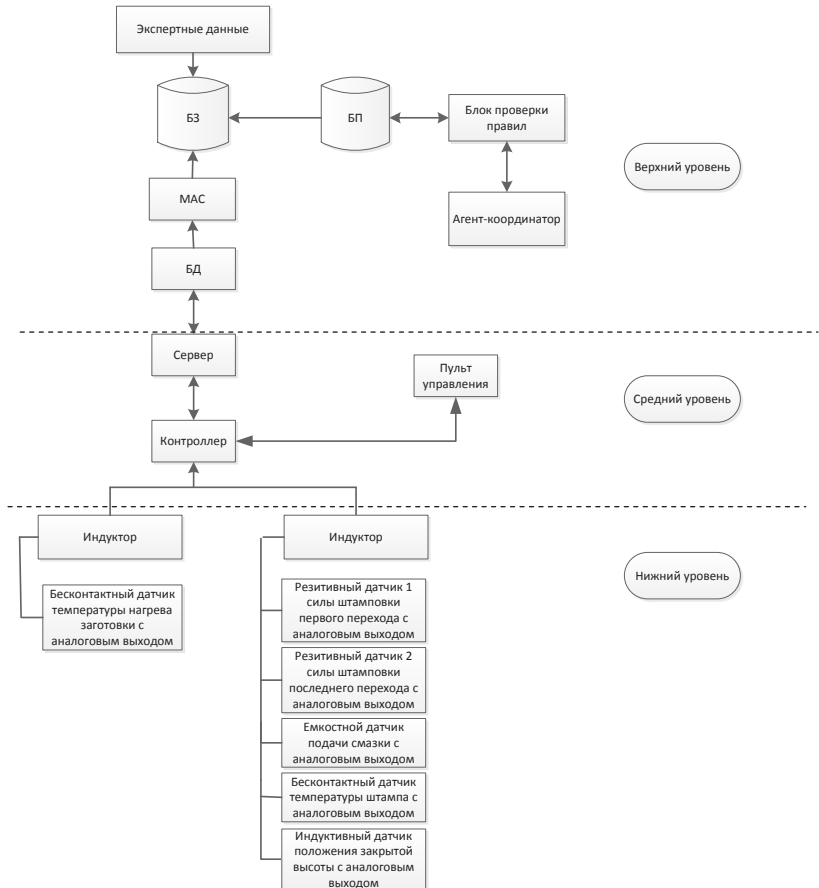


Рисунок 1. Структура многоуровневой системы управления процессом прецизионной штамповки зубчатых конических колес

БЗ- база знаний, БД- база данных, БП- база правил,
МАС-многоагентная система

Система разбита на 3 уровня. Верхний уровень – организационный, представляет собой интеллектуальную надстройку системы и основан на знаниях организационной подсистемы с функциями рассуждения, планирования и принятия решений по организации процесса решения задач.

Средний уровень – координационный. Данному уровню соответствует координационная подсистема, которая осуществляется путем взаимодействия верхнего и нижнего уровней интеллектуализации. Задача данного уровня состоит в планировании работы нижнего уровня и реализации оперативного управления. Информация протекания процесса выводится на дисплей пульта управления. Оператор необходим в системе при возникновении нештатных ситуаций, для отладки режима нанесения покрытий, а так же подготовки и загрузки заготовок, выгрузки обработанных изделий.

Нижний уровень – исполнительный. Представляет собой систему управления аппаратными средствами, которые решают по конкретным алгоритмам поставленную задачу с высокими требованиями к точности и функциям. С целью получения полной информации о процессе, в систему автоматического управления дополнительно установлены датчики. Информация с аппаратуры нижнего уровня передается на модули удаленного ввода - вывода, а затем на контроллер. Система имеет возможность расширения, посредством добавления измерительной аппаратуры и исполнительных механизмов.

Данная многоуровневая система в качестве основы имеет базу знаний, которая хранит в себе информацию о параметрах технологического процесса прецизионной штамповки ЗКК. База знаний формируется на основе практического опыта, и формализуются в виде продукционных правил, с учетом правил логического вывода[3].

Все новые зависимости из базы прецедентов анализируются в блоке проверки правил на соответствие общепринятым. После добавления в базу знаний новых зависимостей, система более точно диагностирует состояния узлов установки, что приводит к снижению брака.

На основании представленной структуры системы технологического процесса прецизионной штамповки ЗКК можно представить агентов данного процесса в виде единой МАС (рис.2).

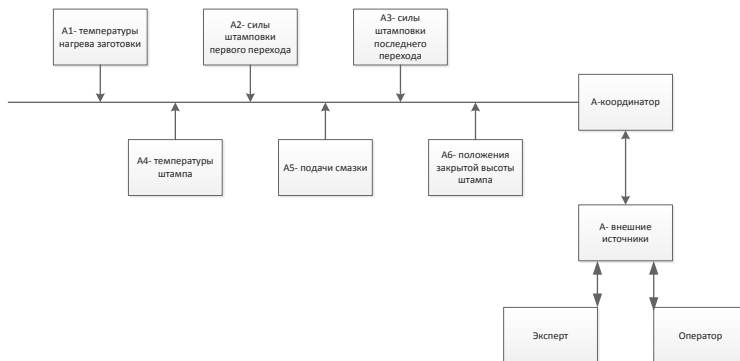


Рисунок 2. Структура МАС для процесса прецизионной штамповки ЗКК

В представленной системе весь спектр задач технологического процесса по определенным правилам распределены между всеми агентами, каждый из которых является членом группы.

Взаимодействие агентов, входящих в МАС, с внешней средой обеспечивается агентом - внешние источники. Взаимодействие между агентами происходит через агента-координатора, который предназначен для координации работы агентов всех уровней. Он содержит репозиторий всех технологических функций МАС и базу знаний с правилами построения системы.

Предложенная система управления формирует управляющие воздействия на основе базы знаний. В процессе анализа моделей представления знаний было отдано предпочтение продукционной, основанной на правилах, модели. Она отличается высокой модульностью правил: при добавлении или изменении правила, все, что было создано ранее, сохраняет актуальность. Способность к самообъяснению: система прослеживает цепочку правил, которая использовалась для получения вывода. По ходу технологического процесса формируются база прецедентов и база знаний.

Для определения продукционных правил, рассмотрим нечеткий вывод на примере агента-силы штамповки первого перехода. Имеются следующие сигналы с датчиков (таблица 1).

Таблица 1. Примеры сигналов датчиков

| п/п | Сигнал | Обозначение | Вариант происхождения | Обозначение |
|-----|-----------------------|----------------------------|-------------------------------------|-------------|
| 1 | Температура заготовки | $t^{\circ}_{\text{загот}}$ | Агент температуры нагрева заготовки | A-1 |

Для «температура заготовки» лингвистическая переменная температура заготовки 1100-1200°C, где до 1100 °С и ее окрестности (0–50°C) является «низкая», температура больше 1200°C - высокая температура.

Следовательно:

- если температура заготовки «низкая», то повышение напряжения текучести на 13% и повышение силы деформирования, следовательно, возникает перегрузка КГШП и может произойти заклинивание пресса;

- если температура заготовки «высокая», то снижается пластичность металла,

которая является результатом значительного роста зерна и последующего пережога металла (окисление границ зерен)

Таким образом, создание и внедрение многоагентной интеллектуальной системы управления параметрами технологического процесса (объем и температура заготовки) и механизмами кривошипных горячештамповочных прессов позволяет повысить эксплуатационные, качественные, а так же технико-экономические показатели за счет уменьшения количества ошибок при разработке системы управления; сокращения времени на выявление и устранение причин, вызывающих неправильное функционирование данной

системы; снижения вероятности выхода из строя дорогостоящего оборудования.

Список литературы

1. Берхеев, М.М. Основы систем автоматизированного проектирования Текст.: учеб. пособие / М.М. Берхеев, И.А. Зяляев и др.; под ред. ЮгВ.Кожевникова. — Казань: изд. КГУ, 1988. 25 Зс. : ил., табл. — ISBN 5-7464-0048-3.
2. Макаров И.М., Лохин И.М., Манко С.В., Романов М.П. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления. М.: Наука, 2006. – С. 214-217.
3. Морозов В.К., Рогочев Г.Н. Моделирование информационных и динамических систем. – М.: Академия, 2011. – С. 127-129.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ОСНОВАНИИ МЕТЕОПРОГНОЗА НА ПРОВОДАХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Газизуллин Р.М., Минуллин Р.Г.

Казанский государственный энергетический университет
420066, Казань, ул. Красносельская, д.51

Аннотация: Рассматривается возможность прогнозирования гололедно-изморозевых отложений на ЛЭП на основании данных метеопрогноза для данной местности и величины электрического тока.

Annotation: Possibility of prognostication of ice-storm-hoar frost sedimentations is examined on the lines of electric transmissions on the basis of data of meteorological prognosis for those areas of locality and the magnitude of the electric current.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи, гололедно-изморозевые отложения на проводах, метеорологический прогноз.

Keywords: overhead power lines, ice deposit on the wires, weather forecast.

Значительная часть повреждений на линиях электропередачи (ЛЭП) обусловлена гололедными авариями, которые являются одними из самых тяжелых на воздушных линиях. При этом возникают массовые провисания и обрывы проводов, разрушения арматуры, поломки опор воздушных линий электропередачи. Гололедные аварии имеют массовый характер и сопровождаются огромными финансовыми потерями.

На сегодняшний день существует несколько методов обнаружения гололедно-изморозевых отложений. Одним из них является метод локационного зондирования заключается в подаче импульсного сигнала в

контролируемую линию и определении времени, затраченного на его распространение вдоль провода в прямом и обратном направлениях после отражения от конца линии либо от высокочастотного заградителя.

Контроль гололедообразования на ЛЭП осуществляется сотрудниками Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ) с 2009 года на линиях 35–110 кВ подстанции «Бугульма-110» (Поволжье), на линиях 110 кВ подстанции «Кутлу Букаш» (Поволжье) и с 2013 года на линиях 110 кВ подстанции «Шкапово» (Урал) и на линии 330 кВ подстанции «Баксан» (Северный Кавказ). Комплексы работают в непрерывном автоматическом режиме зондирования через 30 (60) минут с передачей данных в Центр управления КГЭУ. На сегодняшний день зарегистрировано, обработано и проанализировано около 500 тысяч рефлектограмм.

Гололедные образования на проводах представляют собой неоднородный диэлектрик, уменьшающий скорость распространения сигнала вдоль линии и вызывающий его дополнительное затухание, обусловленное диэлектрическими потерями энергии электромагнитной волны, которая расходуется на нагрев слоя гололедного покрытия. Локационный метод позволяет определять появление гололедных образований на проводах ЛЭП путем сравнения времени распространения отраженных сигналов или их амплитуд при наличии и при отсутствии гололедных образований [1].

Таким образом, имеется большая база данных рефлектограмм на основании которых строится график соответствия гололедно-изморозевых отложений и метеоданных по данному району. Существует функциональная зависимость между интенсивностью нарастания массы отложений, точками росы и десублимации и температурой поверхности провода, а также выявлен вид зависимости и определен коэффициент пропорциональности между этими величинами [2]. Анализ сопоставления данных позволит создать методику прогнозирования гололедообразования в заданных районах.

Прогнозирование гололедообразования на основе метеорологических данных воздушной среды применяются во многих странах, где обледенение линий электропередачи является актуальной проблемой, чтобы смягчить или избежать его влияния на работоспособность этих линий.

Работы по прогнозированию гололедообразования на проводах воздушных линий ведутся в исследовательских центрах Чехии, Исландии, Канады, Франции, Венгрии, Великобритании, Италии и др. Основой прогноза являются модельные закономерности таких метеорологических явлений как влажность и температура окружающего воздуха, ветровые давления, их изменения с высотой от поверхности земли. При этом учитываются рельеф местности, где проходит трасса воздушной ЛЭП, высота трассы над уровнем моря, а также климатические и погодные условия. Прогноз осуществляется применительно к техническим параметрам воздушной линии.

Наиболее интересные результаты по прогнозированию гололедообразования были получены в Италии. При этом обрабатываются выходные данные прогноза погоды, такие как температура воздуха, уровень осадков, интенсивность и направление ветра. На их основе определяются

области потенциального риска из-за гололедообразования для линий электропередачи. После этого, с использованием модели гололедных отложений вычисляется ожидаемая нагрузка ледяной муфты для проводов с различными диаметрами. Эта система прогноза в состоянии предсказывать опасность обледенения проводов по целой стране и выдавать информацию о состоянии линий электропередачи. Каждый день уровень опасности возникновения ледяной муфты отображается на карте заданного региона Италии.

В настоящее время нет никакой определенной модели гололедных отложений, которая может достоверно учитывать все физические и механические процессы, участвующие при обледенении. Поэтому грубая модель, все еще используемая сегодня, может быть улучшена только после сбора более подробных данных реальных наблюдений.

Важным фактором, который должен быть принят во внимание в модели, является нагревание провода за счет эффекта Джоуля, вызванное протекающим электрическим током. Некоторые измерения последствий этого эффекта были выполнены во время экспериментов на линиях электропередачи.

Необходимо подчеркнуть, что достоверность данного метода прогнозирования появления гололеда на проводах воздушных линий не очень высока. Предупреждения прогноза являются «потенциальными предупреждениями», при этом принимаются во внимание только такие погодные условия, которые способствуют отложению влажного снега на проводах. Поэтому количество ложных тревог может быть высоким.

К сожалению, данные рассматриваемого способа прогноза являются предупреждением о возможном возникновении гололедообразования и не могут быть конкретным указанием о начале плавки гололеда, образовавшегося на проводах воздушных линий электропередачи.

Самым последним достижением науки и техники в области мониторинга осадков является метеорологический радиолокатор. Примерно раз в 10 минут он строит трёхмерный снимок атмосферы в радиусе 200 километров от своего местоположения по горизонтали и до 10 километров по вертикали. По принципу действия радиолокатор очень похож на авиационный радар, только на снимке видны не самолёты, а области атмосферы, где есть капли воды размером более 50 микрометров. Если такие капли существуют в действительности, то, скорее всего, они находятся в облаках, из которых они впоследствии выпадают в виде осадков.

В России уже сейчас существует сеть метеорологических радаров достаточно высокого качества. Они установлены в наиболее населённых и интересных с метеорологической точки зрения регионах.

В районах электрических сетей, как правило, имеется определенный опыт по наблюдению отложений на подвешенных линиях и соответствующая статистика наблюдений. Персонал линейной службы обычно знает участки ВЛ, наиболее подверженные метеорологическим воздействиям. На практике линейные службы во взаимодействии с оперативно-диспетчерской службой при возникновении сочетаний условий, приводящих к гололеду, изморози и

намерзанию снега на проводах и грозотросах ВЛ, проводят обследования именно этих участков. В абсолютном большинстве случаев при выявлении угрозы отложений на этих участках выездные бригады проводят визуальную приблизительную оценку вида отложений, их толщины и, в конечном счете, дают приблизительную оценку объему гололедных отложений. В случаях наличия значительного ветра – так же качественно оцениваются его параметры. На основании совокупности этих данных принимается решение на плавку отложений на линии.

Что касается достоверности метеопрогноза, то он выглядит примерно так: прогноз на несколько часов имеет оправдываемость около 98%, на одни сутки вперед – 94% и на 3 суток – 90% (официальные данные ВМО). Таким образом, мы имеем достаточно достоверные данные, чтобы по ним строить метеопрогноз.

Предлагается создать метод прогнозирования образования гололеда на проводах линии электропередачи, обеспечивающий возможность определения гололедных отложений толщиной от 0,5 мм, что гарантирует раннее обнаружение появления гололеда. Особенностью данного метода будет являться анализ существующих параметров рефлектограмм, наложение на них метеоданных с метеорологических радиолокаторов и, используя взаимосвязь между интенсивностью нарастания массы отложений, точками росы и десублимации и температурой поверхности провода строить прогноз на несколько дней вперед. Разрабатываемый метод, будет позволять также определять плотность, максимально возможную массу отложений и интенсивность ее нарастания по направлению и скорости ветра.

Как уже отмечалось выше, для более достоверной картины гололедообразования необходимо учитывать величину электрического тока, проходящего по ЛЭП. Такие данные имеются на самих подстанциях, обслуживающих ЛЭП. Предполагается использовать также и эти данные при построении нового метода.

Применение предложенного метода позволит своевременно провести профилактический нагрев проводов и предотвратить возникновение аварий высоковольтных линий, а также наблюдать на дисплее диспетчера общую картину образования гололеда по времени и толщине отложений.

Список литературы:

1. Минуллин Р.Г., Абдуллазянов Э.Ю., Касимов В.А., Филимонова Т.К., Яруллин М.Р. Предельная чувствительность локационного зондирования линий электропередачи при обнаружении гололедных отложений. // Электротехника. 2016. №6. С. 9–16.

2. Титов Д.Е. Мониторинг интенсивности гололедообразования на воздушных линиях электропередачи и в контактных сетях// Диссертация на соискание ученой степени кандидата наук, Саратов 2104.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по Соглашению № 14.574.21.0141 от 26 сентября 2017 года, уникальный идентификатор проекта RFMEFI57417X0141.

ФОРМИРОВАНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АППАРАТУРЫ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Гараева А.Р., Павлов П.П., Истоппенников М.А., Корольков А.Ю.

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»
420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51

Аннотация. В докладе рассматриваются вопросы обеспечения надёжного функционирования аппаратуры существующих и разрабатываемых комплексов ВСНТ, с учетом применения предлагаемой иерархической КДМ, предназначенной для определения и прогнозирования технического состояния аппаратуры ВСНТ, поиска отказов и их устранения.

Abstract. The report examines the issues of ensuring the reliable functioning of the equipment of existing and developed VSNT facilities, taking into account the application of the proposed hierarchical CDM designed to determine the point of failure in the equipment of the VSNT, the definition and prediction of the technical condition, the search for failures and their elimination.

Ключевые слова: отказ, сложная техническая система, диагностическая модель, иерархическая комбинаторная диагностическая модель, функционирование аппаратуры, комплексы высокоскоростного наземного транспорта.

Вопросы обеспечения надёжного функционирования сложных технических систем, к которым относится аппаратура существующих и разрабатываемых комплексов высокоскоростного наземного транспорта (ВСНТ), приобретает в настоящее время большое значение. Одним из способов решения таких задач является создание новых диагностических моделей для определения и прогнозирования технического состояния аппаратуры комплексов ВСНТ, поиска отказов и их устранения [1].

Предлагаемая иерархическая комбинаторная диагностическая модель (КДМ) предназначена для определения места отказа в аппаратуре сложных технических систем (СТС) и состоит из нескольких уровней [2]. Для того чтобы построить КДМ первого уровня иерархии можно использовать различные диагностические модели. В качестве такой модели предлагается использовать таблицу состояний. КДМ первого уровня представляется в виде бинарного отношения:

$$\beta: \delta \rightarrow \nu, \quad (1)$$

где δ - сигналы (действия), необходимые для обеспечения функционирования элементов аппаратуры СВТС, ν - элементы анализируемой схемы.

Исходными данными при построении таблицы состояний является набор пяти объектов $[A, S, Z, \nu, \xi]$, где $A = \{a_0, a_1, \dots, a_n\}$ - конечный список входных символов; $Z = \{z_0, z_1, \dots, z_m\}$ - список выходных символов; $\nu: S \times A \rightarrow S$ - функция перехода в следующее состояние; $\xi: S \times A \rightarrow S$ - функция выхода. В качестве примера приведена таблица состояний для элемента имеющего три внутренних состояния (Таблица 1).

Таблица 1.

Таблица состояний элемента имеющего три внутренних состояния

| Текущее состояние (S) | Следующее состояние (A) | | | Выход (Z) | | |
|-----------------------|-------------------------|----------------|----------------|-----------|-------|---|
| | ν | вход | | ξ | выход | |
| | | 0 | 1 | | 0 | 1 |
| S | | S ₁ | S ₀ | | 0 | 1 |
| S ₁ | | S ₂ | S ₁ | | 1 | 0 |
| S ₂ | | S ₀ | S ₂ | | 1 | 0 |

Функция перехода ν характеризует реакцию элемента на входной сигнал $\nu: S \times A \rightarrow S$. (2)

Функция перехода ξ показывает взаимосвязь входного и выходного символа при данном внутреннем состоянии элемента

$$\xi: S \times A \rightarrow S. \quad (3)$$

Применяя понятие тождественной функции можно записать, что в любом множестве S тождественная функция $1_s: S \rightarrow S$ отображает любой элемент S в себя: $1_s(s) = s$ для всех $s \in S$.

Соответственно для множества внутренних состояний она принимает следующий вид

$$1_s: s \rightarrow s, \quad (4)$$

а для множества символов

$$1_c: A \rightarrow Z. \quad (5)$$

Подставляя (4) и (5) в (2) и (3) получим

$$S = \nu(S \times A) = 1_s \nu(A), \quad (6)$$

$$Z = \xi(S \times A) = 1_s \xi(A). \quad (7)$$

Учитывая свойство функций, что единица поглощается своими соседями в любом произведении получим

$$\nu: A \rightarrow S, \quad (8)$$

$$\xi: S \rightarrow Z. \quad (9)$$

Имея таблицы состояний элементов и алгоритмы работы устройства можно получить список предписаний функций выхода и перехода, который

ставит в соответствие любому начальному состоянию элемента s_i , $i = \overline{0, r}$ и любой последовательности входных символов вполне определенную последовательность выходных символов. Для нашего примера он примет следующий вид:

$$\nu: (s_0, 0) \rightarrow S_1; (s_0, 1) \rightarrow S_0; (s_1, 0) \rightarrow S_2; (s_1, 1) \rightarrow S_1;$$

$$(s_2, 0) \rightarrow S_0; (s_2, 1) \rightarrow S_2;$$

$$\xi: (s_0, 0) \rightarrow 0; (s_0, 1) \rightarrow 1; (s_1, 0) \rightarrow 1; (s_1, 1) \rightarrow 0;$$

$$(s_2, 0) \rightarrow 1; (s_2, 1) \rightarrow 0.$$

Список предписаний с помощью таблиц состояний составляется по следующей методике:

1. Составить список всех элементов Φ_j , $j = \overline{1, N}$.
2. Составить список предписаний, используя таблицу состояний для Φ_1 , функций выхода ξ и перехода ν .
3. Составить список предписаний по п.2 для остальных элементов Φ_j , $j = \overline{2, N}$.
4. Выбрать из п.2 и п.3 рабочие состояния элементов, т.е. состояния соответствующие алгоритму работы элементов.
5. Составить список входных и выходных сигналов для каждого элемента Φ .
6. Полученный список будет представлять собой бинарное отношение сигналов к элементам.

В докладе рассматриваются вопросы обеспечения надёжного функционирования аппаратуры существующих и разрабатываемых комплексов ВСНТ, с учетом применения предлагаемой иерархической КДМ, предназначенной для определения места отказа в аппаратуре ВСНТ, определения и прогнозирования технического состояния, поиска отказов и их устранения [3].

Литература

1. Павлов П.П., Хаертдинова А.Р., Корольков А.Ю., Соловьева С.И. Диагностирование отказов электротехнического оборудования электроподвижного состава. // В сборнике: Вопросы образования и науки теоретический и методический аспекты. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: Часть 2. 2015. С.108-109.
2. Литвиненко Р.С., Павлов П.П., Гуреев В.М., Мисбахов Р.Ш. Оценка технического уровня сложных систем на этапе разработки // Вестник машиностроения. № 6. 2015.
3. Литвиненко Р.С., Павлов П.П. Методы моделирования процесса функционирования электротехнического комплекса // Наука и современность. 2015. №4(6). С.84-91.

СПОСОБ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ОПОР ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Гатиятов Ильнур Зиннурович¹,
Сабитов Линар Салихзанович¹,
Ихсанов Ренат Минназимович¹,
Патрушев Глеб Артурович¹,
Кашапов Наиль Фаикович²,

ФГБОУ ВО «Казанский Государственный Энергетический Университет»¹,
г.Казань, ул. Красносельская 51,
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»²,
г. Казань, ул. Кремлевская, д.18.

Аннотация. Известные способы испытания опор создают продольные и поперечные статические нагрузки, приложенные к опоре. В реальных условиях эксплуатации значительная часть поврежденных опор связана с воздействием на них динамических нагрузок, которые могут превосходить статические. Предложенный способ позволит провести экспериментальные исследования процессов каскадного разрушения анкерного участка вследствие обрыва проводов, когда потенциальная энергия натяжения проводов преобразуется в динамическое воздействие на конструкцию опор.

Known methods of testing supports create longitudinal and transverse static load applied to the support. In real conditions the majority of the damage of the supports is connected with the influence on them of dynamic loads, which can exceed the static. The proposed method allows to conduct experimental studies of cascade processes of destruction of anchor site due to a wire breakage, when the potential energy of the tension wires is converted into a dynamic influence on the design of supports.

Ключевые слова: *надежность, способ испытания, динамические нагрузки, система опор.*

Металлические и железобетонные опоры нашли широкое применение в практике сетевого строительства. Они обладают рядом преимуществ перед деревянными опорами и сооружаются на особо ответственных линиях, где требуется высокая эксплуатационная надежность, а также на территории больших городов и -поселков. Кроме того, металлические опоры устанавливаются на больших переходах через реки и другие инженерные сооружения, в промышленных районах и на горных участках.

Оценка влияния на прочность и деформативность опор динамических нагрузок, связанных, например, с обрывом проводов, вследствие гололедных аварий или усталостных колебательных повреждений на выходе из

поддерживающего зажима, в настоящее время проводится только с помощью различных компьютерных программ.

Известные способы испытания опор создают продольные и поперечные нагрузки, приложенные к опоре [1]. Недостатком этих способов является то, что напряженно-деформированное состояние конструкции опоры производят при приложении к ней статических нагрузок, при том, что в реальных условиях эксплуатации значительная часть повреждений опор связана с воздействием на них динамических нагрузок, которые могут превосходить статические почти в два раза с.106 [2].

Представленный способ заключается в обеспечении динамических испытаний единой системы опор, объединенных упругими механическими связями, выполненными в виде тросовых тяг с встроенными пружинами растяжения, моделирующей реальный анкерный участок для определения их динамических характеристик, как в расчетных условиях, так и в аварийных режимах, вызванных воздействиям гололедных нагрузок, превышающих предельные значения, включающих разрушение конструкций опор.

Отмеченные обстоятельства позволяют уточнить методики расчета опор на основе полученных экспериментальных данных, так как теоретические методы описания сложных динамических процессов, происходящих в воздушных линиях электропередачи, с множеством влияющих факторов, имеют ограниченное применение вследствие недостаточно высокой точности расчетов.

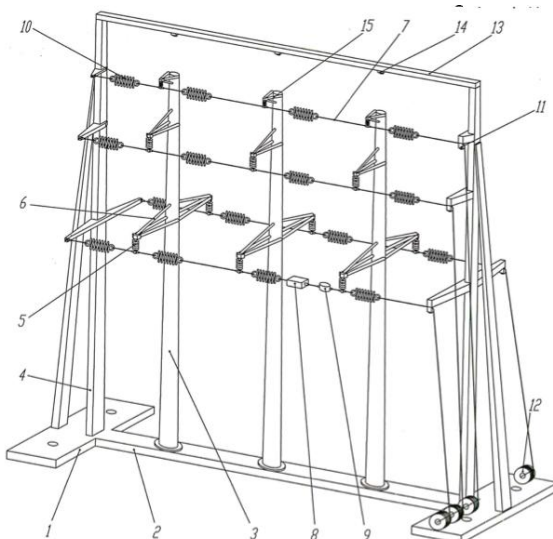


Рис.1 Установка для динамических испытаний опор воздушных ЛЭП

Выводы: предложенный способ позволит провести экспериментальные исследования процессов каскадного разрушения анкерного участка вследствие обрыва проводов, когда потенциальная энергия натяжения проводов в пролетах анкерного участка преобразуется в мощное динамическое воздействие на конструкции опор, приводящее к их разрушению.

Литература:

1. Патент РФ №2554285, МПК G01M5/00, опубл. 10.05.2015.
2. Бирбраер А.Н. Экстремальные воздействия на сооружения. – СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2009. – 594с., С.106.
3. Патент РФ №2574419, МПК G01M7/02, опубл. 10.02.2016.
4. Металлические конструкции, т.3 /Под редакцией В.В. Кузнецова – М.: АСВ, 1999. – 528с.,С.402.
5. Крюков К.П., Новгородцев Б.П. Конструкции и механический расчет линий электропередачи. – Л.: Энергия, 1979. – 312с.
6. Ачеркан Н.С. Детали машин, т.2 – М.: -Машиностроение, 1968. -408с.

УДК 621.315.2

ЗАДАЧА ТЕРМОУПРУГОСТИ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Гимадиев Равиль Шамсутдинович

Казанский государственный энергетический университет
420066, Казань, ул. Красносельская, д. 51

Разработана математическая модель динамики деформирования провода воздушной линии электропередачи. Проведено численное исследование нагружения линии электропередачи при совместном воздействии весовой и ветровой нагрузки. Исследуется процесс теплопроводности и динамики деформирования линии при растапливании обледенения нагревом, изучаются переходные процессы при деформировании воздушных линий электропередач. Для частных случаев нагружения получены аналитические решения деформирования провода воздушной линии.

Ключевые слова: высоковольтная линия, динамика деформирования, теплопроводность, обледенение.

A mathematical model of deformation dynamics of an overhead power transmission line is created. A numerical study of the loading of the power transmission line is carried out under the combined action of a weight and wind load. The process of thermal conductivity and the dynamics of the deformation of the line are studied in the case of ice melting by heating, the transient processes during the deformation of overhead power lines are studied. For special cases of loading, analytical solutions for the deformation of the wire are obtained.

Введение. Провода высоковольтных линий (ВЛ) подвергаются значительным механическим нагрузкам. Они постоянно нагружены собственным весом и ветровой нагрузкой. Во многих регионах нашей страны в осенне-весенний период создаются благоприятные условия для образования гололедных отложений на линиях электропередачи. Обнаружению обледенения ВЛ посвящена работа [1]. Провода ВЛ представляют собой деформируемое тело, диаметр которого можно считать пренебрежимо малым по сравнению с его длиной. Провод ВЛ моделируется абсолютной гибкой линейной связью [2 ÷ 4].

1. Постановка. Гибкая система ВЛ не воспринимает изгибных напряжений, но работает на растяжение и сжатие. Движение ВЛ с линейной плотностью $\rho_0(s)$ рассматривается в декартовой системе координат $Ox_1x_2x_3$. Опоры ВЛ абсолютно жесткие и расположены в вертикальной плоскости Ox_2x_3 . Деформация гибкой системы характеризуется степенью удлинения $\lambda = 1 + e$, где e – относительное удлинение.

1.1. Уравнения движения ВЛ в проекциях на оси декартовой системы координат $Ox_1x_2x_3$ имеют вид [2]

$$\begin{aligned} \rho_0 \frac{\partial v_1}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{T}{\lambda} \frac{\partial x_1}{\partial s} \right) - F_n \cos \varphi \cos \alpha_1 \frac{\partial x_3}{\partial s} + F_\tau \frac{\partial x_1}{\partial s} \\ \rho_0 \frac{\partial v_2}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{T}{\lambda} \frac{\partial x_2}{\partial s} \right) - F_n \cos \varphi \sin \alpha_1 \frac{\partial x_3}{\partial s} + F_\tau \frac{\partial x_2}{\partial s} \\ \rho_0 \frac{\partial v_3}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{T}{\lambda} \frac{\partial x_3}{\partial s} \right) + F_n \lambda \cos \varphi \sin \gamma + F_\tau \frac{\partial x_3}{\partial s} - \rho_0 g \end{aligned} \quad (1.1)$$

где v_1, v_2, v_3 – проекции скорости элементов на координатные оси, T – натяжение,

$$\begin{aligned} \cos \alpha_1 &= \frac{\cos \alpha}{\sqrt{\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta}}, \quad \sin \alpha_1 = \frac{\cos \beta}{\sqrt{\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta}}, \quad \cos \alpha = \frac{1}{\lambda} \frac{\partial x_1}{\partial s} \\ \cos \beta &= \frac{1}{\lambda} \frac{\partial x_2}{\partial s}, \quad \cos \varphi = 1, \quad \cos \gamma = \frac{1}{\lambda} \frac{\partial x_3}{\partial s}, \quad \sin \gamma = \sqrt{1 - \cos^2 \gamma} \end{aligned}$$

В соответствии с решением дифференциальных уравнений движения (1.1) система через форму максимального нагружения и провиса переходит в равновесное состояние. При образовании гололеда масса провода увеличивается и система переходит в новое равновесное деформированное состояние. При включении нагрева провод еще больше провисает за счет температурного удлинения. После прогрева обледенение сбрасывается, температура по линейному закону спадает до температуры окружающей среды, и форма провода переходит снова в равновесное состояние, которое соответствует нагружению только весом самого провода.

1.2. Уравнение теплопроводности для линейного элемента имеет вид

$$c\rho \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial s} \left(k \frac{\partial u}{\partial s} \right) + f_0(s, t), \quad (1.2)$$

где ρ - плотность материала, c - теплоемкость единицы массы, k - коэффициент теплопроводности, f_0 - плотность тепловых источников, u - температура, t - время, s - лагранжева координата.

1.3. Тестовые расчеты. Проверка упругой части задачи проводится сравнением с аналитическими решениями: а) вес действует вдоль оси Ox_3 , в работе [3] получено аналитическое решение для статического состояния ВЛ и численное решение по (1.1). При этом для статической задачи относительная погрешность ошибки по сравнению с точным решением составляет $\theta \approx 0,12\%$; б) под действием ветровой нагрузки перепад давления действует по нормали к деформированной ВЛ. Для этого случая в [3] проведено сравнение численного решения уравнений (1.1) с приближенным аналитическим решением [5]. Относительная погрешность составляет менее $\theta = 0,007\%$. При этом погрешность самого приближенного решения не превышает величины $\delta = 0,004 \cdot 10^{-2}\%$.

Проверка алгоритма задачи теплопроводности (1.2). Аппроксимацию граничных условий проводится по линейному закону. В начальном состоянии температура провода равна температуре окружающей среды (минус 5°). Пусть теплоизолированный провод разделен на две части. Мгновенно левый пролет нагрет до 200°C а правый имеет температуру окружающей среды минус 5° . В безразмерном виде эти температуры составят 1,7322 и 0,9817. Перераспределение температуры по длине и по времени происходит без потери тепла (теплоизолированный провод) и процесс продолжается до температуры выравнивания до теоретической величины $(1,7322 + 0,9817)/2 = 1,35695$, что соответствует $97,5^\circ$ или $370,65089\text{ K}^\circ$. Численные расчеты по (1.2) дают 1,35689. Температура выравнивается за 2,1 с.

1.4. Результаты численного эксперимента динамика ВЛ с учетом веса провода, веса обледенения и теплопроводности. Пусть линейная плотность электрических проводов равна $\rho_{\text{пров}} = 0,5\text{ [кг/м]}$, а плотность обледенения $\rho_{\text{обл}} = \rho_{\text{пров}}$. Общая плотность составляет $\rho = 1,0\text{ [кг/м]}$, $g = 9,81\text{ [м/с}^2\text{]}$, $a = 160\text{ [м]}$; скоростной напор действующий на провода при скорости ветра $V_\infty = 20\text{ м/с}$ составляет $q = \rho_{\text{воз}} V_\infty^2 / 2 = 25 \cdot g\text{ [кг/(м} \cdot \text{с}^2\text{)]}$, диаметр провода $d_{\text{пров}} = 0,01553\text{ [м]}$; погонная ветровая нагрузка равна $p = qd_{\text{пров}} = 0,38825 \cdot g\text{ [Н/м]}$; коэффициент линейного расширения алюминиевого провода составляет $\alpha_l = 23,8 \cdot 10^{-6}\text{ [1/K}^\circ\text{]}$; модуль упругости $E = 6,25 \cdot 10^{10}\text{ [Н/м}^2\text{]}$; плотность материала провода $\rho_{\text{np}} = 2700\text{ [кг/м}^3\text{]}$; теплоемкость единицы массы $c = 0,9\text{ [кДж/(кг} \cdot \text{K}^\circ\text{)]}$; $f_0 = 0\text{ [Вт/м}^3\text{]}$ - плотность тепловых источников; коэффициент теплопроводности $k = 209\text{ [Вт/(м} \cdot \text{K}^\circ\text{)]}$; абсолютная температура Кельвина $K^\circ = -273,15^\circ$. Количество дискретных элементов в разбиении длины провода для разностной схемы $N = 50$.

В соответствии с решением уравнения движения провод под действием только собственного веса перемещается до прогиба $\max f = 3,4\text{ м}$, при этом

натяжение составляет $T = 12 \text{ кН}$, затем в результате переходного процесса по истечении времени около 30 секунд самоустанавливается до формы равновесного состояния с прогибом $\max f = 2,3 \text{ м}$. На эту форму равновесного состояния накладывается равномерная по длине масса обледенения. Система снова выходит на равновесное состояние с массой провода и обледенения, это состояние в момент времени $t = 51 \text{ с}$ приводится на рис. 1. При этом максимальный прогиб составляет $\max f = 2,95 \text{ м}$ и натяжение $T = 9,8 \text{ кН}$. Считается, что в момент времени $t = 51 \text{ с}$ 1/10 часть пролета мгновенно нагрета до температуры 150°C , и эта температура держится неизменной на этой части и нагревает остальную часть пролета за счет теплопроводности в течение 5 секунд. В течение этого времени эта температура успевает распространиться и выровняться до 150°C по всей длине. При этом происходит удлинение за счет теплового расширения. В конце нагрева прогиб достигает величины $\max f = 6,2 \text{ м}$, и температурное натяжение в проводе составляет величину 38 кН .

После этого масса обледенения считается сброшенной мгновенно, в течении одной секунды температура выравнивается с температурой окружающей среды, равной минус 5°C . Рассчитывается дальнейшее движение, система переходит в новое равновесное состояние с максимальным прогибом $2,3 \text{ м}$ и натяжением в проводе $6,2 \text{ кН}$.

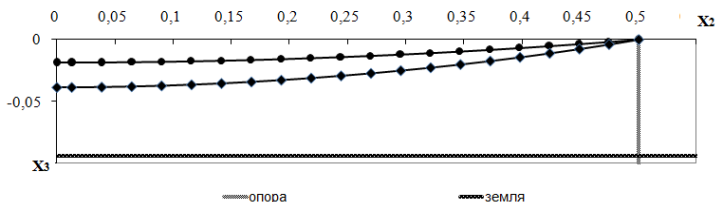


Рис. 1. Форма проводов ВЛ с учетом:

- веса провода с обледенением до начала нагрева ($t=51 \text{ с}$.)
- ◆ веса провода с обледенением в конце нагрева провода ($t=56 \text{ с}$.)

Выводы: Разработана математическая модель динамики деформирования ВЛ в пространственной постановке с учетом теплопроводности. Численные алгоритмы прошли тестовую отработку. Алгоритмы позволяют проводить численный эксперимент по растапливанию обледенения ВЛ в процессе нагружения весовой и ветровой нагрузкой в динамическом режиме.

Литература

1. Минуллин Р. Г., Фардиев И. Ш. Локационная диагностика воздушных линий электропередачи: монография / - Казан. гос. энерг. ун-т, Казань: 2008. - 203 с.
2. Гимадиев Р.Ш., Динмухаметов Ф.Ф. Моделирование разрыва линий передачи энергий // Изв. вузов. Проблемы энергетики. 2008. № 7-8. С. 137-143.

3. Гимадиев Р.Ш., Динмухаметов Ф.Ф., Галимуллин Н.Р. Расчет пространственной динамики ЛЭП при совместном воздействии ветровой и весовой нагрузки // Изв. вузов. Проблемы энергетики. 2010. № 3-4. С. 28-37.

4. Гимадиев Р.Ш., Гимадиева Т.З. Математическое моделирование деформирования линии электропередачи с учетом теплопроводности// Изв. вузов. Проблемы энергетики. 2011. № 9. С. 51-59.

5. Гимадиев Р.Ш., Ильгамов М.А. Статическое взаимодействие профиля мягкого крыла с потоком несжимаемой жидкости// Изв. вузов. Авиационная техника. 1998, №1. С. 43-48.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ГИБРИДНОГО БОЛЬШЕГРУЗНОГО АВТОМОБИЛЯ В УСЛОВИЯХ ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ ОДНОГО ИЗ КОЛЁС

Гурьянова Екатерина Олеговна
Московский технологический университет
119454, г. Москва, просп. Вернадского, 78

Демьянов Дмитрий Николаевич
Казанский (Приволжский) федеральный университет
420008, г. Казань, ул. Кремлёвская, 18

Аннотация: Разработана математическая и компьютерная модель движения гибридного большегрузного автомобиля в условиях проскальзывания колёс. Предложены алгоритмы перераспределения крутящего момента между колёсами для обеспечения управляемости и устойчивости движения по заданной траектории. Эффективность разработанных алгоритмов подтверждена результатами компьютерного моделирования в системе MATLAB/Simulink.

Abstract: Mathematical and computer models for the motion of a hybrid heavy truck in conditions of wheel slip have been developed. Algorithms for the redistribution of the torque between the wheels to provide controllability and stability of motion along the guided path have been proposed. The efficiency of the developed algorithms is confirmed by the results of computer simulation in the MATLAB / Simulink system.

Ключевые слова: гибридный большегрузный автомобиль, AWD-система, система распределения крутящего момента, математическая модель, компьютерная модель.

Введение. Использование гибридных трансмиссий в настоящее время является одним из наиболее эффективных способов улучшения потребительских свойств большегрузных автомобилей. Появление автомобилей, оснащённых AWD-системой и системой «старт-стоп» позволяет существенно улучшить управляемость автомобиля и повысить его топливную экономичность [1]. Кроме того, AWD-система более удобна для водителя, чем

ESC-система, так как не предполагает использование тормоза. Однако, существенным недостатком AWD-системы является её высокая сложность. Таким образом, задача разработки алгоритмов управления AWD-системой является весьма актуальной.

Математическое моделирование. Рассмотрим четырёхколёсный автомобиль, оснащённый гибридной трансмиссией. Крутящий момент на заднюю ось поступает от гибридной силовой установки, на передней оси установлены мотор-колёса. Распределение крутящего момента между колёсами одной оси осуществляется с помощью дифференциала повышенного трения [2].

Для описания движения большегрузного автомобиля используем четырёхколёсную модель, описанную в работе [3]:

$$\begin{cases} m \cdot \ddot{x} = (F_{yfl} + F_{yfr}) \cdot \cos(\delta) + F_{xrl} + F_{xrr} - (F_{yfl} + F_{yfr}) \cdot \sin(\delta) + m \cdot \dot{\psi} \cdot \dot{y}; \\ m \cdot \ddot{y} = F_{yrl} + F_{yrr} + (F_{yfl} + F_{yfr}) \cdot \sin(\delta) + (F_{yfl} + F_{yfr}) \cdot \cos(\delta) - m \cdot \dot{\psi} \cdot \dot{x}; \\ J_z \cdot \ddot{\psi} = l_f \cdot (F_{yfl} + F_{yfr}) \cdot \sin(\delta) + l_f \cdot (F_{yfl} + F_{yfr}) \cdot \cos(\delta) - l_r \cdot (F_{yrl} + F_{yrr}) + \\ + \frac{l_w}{2} \cdot (F_{xfr} - F_{xfl}) \cdot \cos(\delta) + \frac{l_w}{2} \cdot (F_{xrr} - F_{xrl}) + \frac{l_w}{2} \cdot (F_{yfl} - F_{yfr}) \cdot \sin(\delta). \end{cases} \quad (1)$$

Здесь обозначено: x, y – смещение в продольном и поперечном направлении соответственно; ψ – угол рыскания; F_{xxx} – сила реакции в точке контакта колеса с дорогой, где первый индекс обозначает продольное или поперечное направление силы, второй индекс обозначает переднюю или заднюю ось, а третий индекс – левый или правый борт автомобиля; m – масса автомобиля; J_z – момент инерции относительно вертикальной оси; δ – угол поворота передних колёс; l_f, l_r – расстояние от центра масс автомобиля до передней и задней оси соответственно; l_w – межколёсное расстояние.

Величину продольной и поперечной силы реакции можно определить по формулам, описанным в работе [4]:

$$F_x = C_\sigma \cdot \frac{\sigma}{1 + \sigma} \cdot f(\lambda); \quad F_y = C_\alpha \cdot \frac{\tan(\alpha)}{1 + \sigma} \cdot f(\lambda). \quad (2)$$

Здесь обозначено: F_x, F_y – продольная и поперечная составляющая силы реакции соответственно; C_σ – нормальная жесткость шины; C_α – боковая жесткость шины; σ – коэффициент проскальзывания колеса; α – угол проскальзывания; $f(\lambda)$ – функция, описывающая параметры колеса, числовые значения которой приведены в работе [4].

Величина проскальзывания для каждого из колёс определяется формулой:

$$\sigma = \frac{r \cdot \omega - \dot{x}}{r \cdot \omega}. \quad (3)$$

Здесь обозначено: r – радиус качения; ω – угловая скорость колеса.

Коэффициент проскальзывания используется для определения состояния колеса. При этом различают два режима движения автомобиля: ведущий и тормозной. В ведущем режиме полное скольжение будет при буксующем колесе и при неподвижном автомобиле ($r = 0$), а при тормозном режиме – при движении колеса юзом ($r = \infty$) [5].

Углы проскальзывания для колёс передней и задней оси определяются по

формулам [5]:

$$\alpha_f = \delta - \frac{\dot{y} + l_f \cdot \dot{\psi}}{\dot{x}}; \quad \alpha_r = \frac{\dot{y} - l_r \cdot \dot{\psi}}{\dot{x}}. \quad (3)$$

Здесь обозначено: α_f , α_r – углы проскальзывания для колёс передней и задней оси соответственно.

Частоты вращения колёс автомобиля могут быть найдены с помощью уравнения динамики вращательного движения:

$$\begin{cases} J_w \cdot \dot{\omega}_{fl} = T_{dfl} - T_{bfl} - r \cdot F_{xfl}; \\ J_w \cdot \dot{\omega}_{fr} = T_{dfr} - T_{bfr} - r \cdot F_{xfr}; \\ J_w \cdot \dot{\omega}_{rl} = T_{drl} - T_{brl} - r \cdot F_{xrl}; \\ J_w \cdot \dot{\omega}_{rr} = T_{drr} - T_{brr} - r \cdot F_{xrr}. \end{cases} \quad (4)$$

Здесь обозначено: J_w – момент инерции колеса; ω_{xcl} – угловая скорость колеса, где первый индекс обозначает переднюю или заднюю ось, а второй индекс – левое или правое колесо; T_{dxx} , T_{bxx} – крутящий и тормозной момент соответственно, поступающий на колесо, где второй индекс обозначает переднюю или заднюю ось, а третий индекс – левое или правое колесо.

Крутящий момент на мотор-колёса передней оси поступает от индивидуальных приводов. Крутящие моменты на колёсах задней оси определяются уравнениями:

$$T_{dl} = \frac{T_d}{2} - q \cdot T_{clutch}; \quad T_{dr} = \frac{T_d}{2} + q \cdot T_{clutch}. \quad (5)$$

Здесь обозначено: T_{dl} , T_{dr} – крутящий момент на левом и правом колесе соответственно; T_d – общий крутящий момент, подаваемый на ось; q – коэффициент блокировки дифференциала; T_{clutch} – момент сцепления.

Система уравнений (1) – (5) позволяет описывать движение большегрузного автомобиля с учётом возможного проскальзывания колёс. Дополнив эту систему соотношениями для определения коэффициента блокировки дифференциала и крутящих моментов на мотор-колёсах передней оси, можно получить замкнутую систему уравнений, позволяющую моделировать движение гибридного большегрузного автомобиля.

Компьютерное моделирование. На основе уравнений (1) – (5) в системе MATLAB/Simulink была разработана компьютерная модель движения гибридного большегрузного автомобиля в условиях проскальзывания колёс.

Были выбраны следующие значения параметров, приближенные к реальным характеристикам грузовых автомобилей семейства «КАМАЗ»: $m = 46000$ кг; $l_w = 2,04$ м; $l_f = 3$ м; $l_r = 4,27$ м; $r = 0,55$ м; $C_\sigma = 490000$ Н/м; $C_\alpha = 431200$ Н/м; $J_w = 13,5$ кг·м².

Система распределения крутящего момента моделируется в виде логического блока. Его входными величинами являются общий крутящий момент, скорость автомобиля, степень заряда и напряжение аккумуляторной батареи. Выходными величинами являются значения крутящего момента,

поступающего на каждое колесо T_{dfr} , T_{dfl} , T_{drr} , T_{drl} .

Алгоритм, использованный для управления приводами мотор-колёс передней оси, подробно описан в работе [6]. Управление блокировкой дифференциала осуществляется следующим образом: электронный блок управления определяет момент, когда колесо проскальзывает, и перераспределяет суммарный крутящий момент на другое колесо.

На рисунке 1 представлены результаты одного из компьютерных экспериментов, в рамках которого воспроизводилось движение гибридного грузового автомобиля с AWD-системой и без неё.

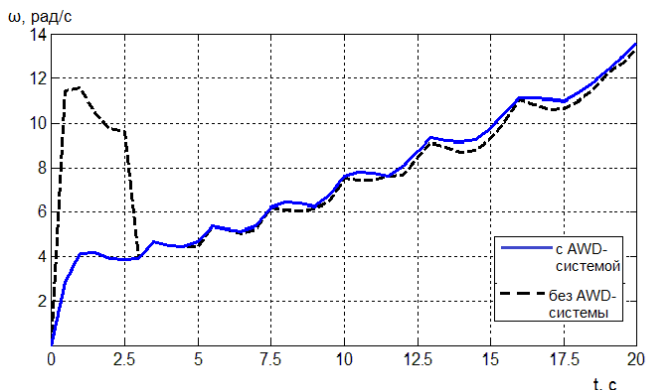


Рисунок 1 – Зависимость скорости вращения колеса от времени

Результаты проведённого моделирования позволяют сделать вывод о том, что использование описанных алгоритмов управления позволяет повысить управляемость и устойчивость движения грузового автомобиля на различных типах поверхностей в условиях проскальзывания колёс.

Выводы. Была разработана математическая и компьютерная модель движения гибридного грузового автомобиля в условиях проскальзывания колёс. Предложены алгоритмы управления мотор-колёсами и закон изменения коэффициента блокировки дифференциала, обеспечивающие повышение управляемости и устойчивости. Результаты исследования могут быть использованы на практике при разработке систем активной безопасности гибридных грузовых автомобилей.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-38-00042).

Список литературы

1. Qui L., Qian L., Zomorodi H, Pisu P. Global optimal energy management control strategies for connected four-wheel-drive hybrid electric vehicles // IET Intelligent Transport Systems, 2017, Vol. 11. Iss. 5, pp. 264-272.
2. Андреев А. Ф., Ванцевич В. В., Лефаров А. X. Дифференциалы колёсных машин. М.: Машиностроение, 1987. 176 с.
3. Rajamani R. Vehicle dynamics and control. Springer, 2011. 500 p.

4. Dugoff H., Fancher P. S., Segal L. Tire performance characteristics affecting vehicle response to steering and braking control inputs. Final Report. US National Bureau of Standards, 1969. 105 p.

5. Kiencke U., Nielsen L. Automotive Control Systems. Springer, 2005. 521 p.

6. Ван Е. В., Гурьянова Е. О., Демьянов Д. Н. Разработка алгоритмов управления элементами трансмиссии гибридного грузового автомобиля при наличии ограничений // XXVIII Международная инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС - 2016). М.: Изд-во ИМАШ РАН, 2017. С. 219-222.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ НАЛИЧИИ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ И ОТСУТСТВИИ ИНФОРМАЦИИ О ВХОДНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Демьянов Дмитрий Николаевич

Казанский (Приволжский) федеральный университет
420008, г. Казань, ул. Кремлёвская, 18

Аннотация: В представленной работе рассматривается задача оценивания состояния технической системы, описываемой дифференциальными уравнениями первого порядка, параметры которой изменяются с течением времени по некоторому закону. Сформулированы условия разрешимости задачи синтеза в терминах технологии канонизации матриц. Предложен алгоритм расчёта коэффициентов наблюдателя состояния люенбергерского типа, обеспечивающего асимптотическое стремление к нулю ошибки оценивания.

Abstract: In this paper, we consider the problem of estimating the state of a technical system described by differential equations of the first order, the parameters of which vary with time according to a certain law. The conditions for the solvability of the synthesis problem are formulated in terms of the matrix canonization technology. An algorithm is proposed for calculating the coefficients of a state observer of the Luenberger type, which ensures the asymptotic approach to zero of the estimation error.

Ключевые слова: динамическая система, наблюдатель состояния, внешние воздействия, параметрические возмущения.

Введение. Известно, что одним из важнейших условий эффективного функционирования сложных технических систем является регулярный контроль их состояния [1]. Чаще всего оценить состояние с достаточной степенью точности можно путём обработки показаний датчиков или статистического анализа эксплуатационных характеристик. Однако, в ряде случаев указанные способы оказываются недостаточно эффективны по ряду технико-экономических причин, поэтому для оценивания состояния технических систем используют так называемые наблюдатели состояния [2]. В

настоящее время теория наблюдателей состояния для систем, описываемых линейными дифференциальными уравнениями первого порядка, достаточно хорошо разработана и изложена в соответствующей специальной литературе. При этом вопросы проектирования наблюдателей состояния для нелинейных или нестационарных динамических систем исследованы гораздо хуже и содержат большое количество нерешенных проблем [3, 4], решение которых является весьма актуальной задачей.

Постановка задачи. Пусть математическая модель рассматриваемой технической системы задана уравнениями в пространстве состояний:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = A_{11}x_1 + A_{12}x_2 + vF_{11}x_1 + vF_{12}x_2 + B_1u; \\ \dot{x}_2 = A_{21}x_1 + A_{22}x_2 + vF_{21}x_1 + vF_{22}x_2 + B_2u; \\ y = x_1. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь x_1, x_2 – элементы вектора состояния рассматриваемой системы; u – входное воздействие; y – выходной сигнал; v – функция времени, определяющая закон изменения параметров системы; $A_{11}, A_{12}, A_{21}, A_{22}, F_{11}, F_{12}, F_{21}, F_{22}$ – числовые матрицы коэффициентов.

Предполагается, что выходной сигнал доступен измерению с высокой степенью точности, функция v известна, вектора x_2 и u измерены быть не могут.

С содержательной точки зрения, сформулированные условия представляют собой описание линейной динамической системы с параметрическими возмущениями (матричные коэффициенты уравнения динамики изменяются с течением времени по некоторому закону). Наиболее очевидным примером является износ элементов технической системы в процессе эксплуатации.

Требуется синтезировать наблюдатель состояния динамической системы (1), позволяющий по известным u и v формировать вектор оценки z такой, что:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} [z(t) - x_2(t)] = 0. \quad (2)$$

Синтез уравнения наблюдателя. Составим уравнение наблюдателя на основе второго уравнения системы (1), дополнив его слагаемым, пропорциональным разности оценки и истинного значения вектора x_2 :

$$\dot{z} = A_{21}y + A_{22}z + vF_{21}y + vF_{22}z + B_2u + L(A_{12}z + vF_{12}z - A_{12}x_2 - vF_{12}x_2). \quad (3)$$

Подставив в уравнение (3) истинные значения слагаемых $A_{12}x_2$ и $vF_{12}x_2$ из первого уравнения системы (1), получим:

$$\begin{aligned} \dot{z} = & (A_{22} + LA_{12})z + v(F_{22} + LF_{12})z + (A_{21} + LA_{11})y + v(F_{21} + LF_{11})y + \\ & + (B_2 + LB_1)u - L\dot{y}. \end{aligned} \quad (4)$$

Уравнение динамики ошибки оценивания вектора x_2 можно получить путём вычитания из уравнения (3) второго уравнения системы (1):

$$\dot{\varepsilon} = (A_{22} + LA_{12})\varepsilon + v(F_{22} + LF_{12})\varepsilon. \quad (5)$$

В общем случае решение уравнения (5) зависит от функции v , при этом закон изменения ошибки оценивания может быть достаточно сложным. Однако, задачу можно существенно упростить, если подобрать матрицу наблюдений из условия:

$$F_{22} + LF_{12} = 0. \quad (6)$$

При этом уравнение динамики ошибки оценивания будет иметь вид:

$$\dot{\varepsilon} = (A_{22} + LA_{12})\varepsilon. \quad (7)$$

Если пара (A_{22}, A_{12}) является полностью наблюдаемой по Калману, то соответствующим выбором матрицы L можно обеспечить асимптотическое стремление к нулю ошибки оценивания, т. е. выполнение условия (2).

Согласно принятым ограничениям, входной сигнал u недоступен измерению, поэтому его также следует исключить из уравнения динамики наблюдателя. Для этого достаточно обеспечить выполнение условия:

$$B_2 + LB_1 = 0. \quad (8)$$

При выполнении ограничений (6) и (8) уравнение (4) существенно упрощается и принимает следующий вид:

$$\dot{z} = (A_{22} + LA_{12})z + (A_{21} + LA_{11})y + v(F_{21} + LF_{11})y - Ly. \quad (9)$$

Следует отметить, что в уравнение (9) входит слагаемое, пропорциональное производной выходного сигнала. В то же время известно, что на практике операция дифференцирования, как правило, приводит к появлению дополнительных погрешностей и её рекомендуется избегать. Для этого модифицируем расчётную схему, введя в рассмотрение вспомогательную переменную $w(t)$:

$$w(t) = z(t) + Ly(t). \quad (10)$$

Перепишем уравнение (9) с учётом соотношения (10):

$$\dot{w} = (A_{22} + LA_{12})w + (A_{21} + LA_{11} - A_{22}L - LA_{12}L)y + v(F_{21} + LF_{11})y. \quad (11)$$

Уравнение для оценки вектора x_2 при этом будет иметь вид:

$$z(t) = w(t) - Ly(t). \quad (12)$$

Таким образом, в случае наблюдаемости пары (A_{22}, A_{12}) при выполнении условий (6) и (8) можно сформировать уравнения наблюдателя, обеспечивающего асимптотическое стремление к нулю ошибки оценивания неизмеряемой компоненты вектора состояния технической системы (1).

Анализ условий разрешимости. Определим условия, при которых уравнения наблюдателя имеют вид (9) или (11) – (12). Для этого объединим условия (6) и (8), представив их в виде одного линейного матричного уравнения:

$$K_1 + LK_2 = 0. \quad (13)$$

Здесь обозначено: $K_1 = [F_{22} \ B_2]$; $K_2 = [F_{12} \ B_1]$.

Решение уравнения (13) существует, если выполняется условие [5]:

$$K_1 \bar{K}_2^R = 0. \quad (14)$$

Здесь и далее для произвольной матрицы M символами \bar{M}^R и \bar{M}^L будем обозначать ненулевые матрицы максимального ранга такие, что $M\bar{M}^R = 0$ и $\bar{M}^L M = 0$ соответственно. Кроме того, определим матричную конструкцию $\tilde{M} = \tilde{M}^R \tilde{M}^L$, в которой \tilde{M}^R и \tilde{M}^L – матрицы максимального ранга такие, что $\tilde{M}^L \tilde{M}^R = I$. Подробная информация о свойствах указанных матриц и описание алгоритма их вычисления приведены в работе [5].

В общем случае множество решений уравнения (13) задаётся формулой:

$$\{L\}_\eta = -K_1 \tilde{K}_2 + \eta \bar{K}_2^L. \quad (15)$$

Здесь η – произвольная числовая матрица соответствующей размерности.

Перепишем матрицу коэффициентов из правой части уравнения (7) с учётом условия (15):

$$A_{22} + LA_{12} = A_{22} - K_1 \tilde{K}_2 A_{12} + \eta \bar{K}_2^L A_{12}.$$

Введём новые обозначения:

$$A^* = (A_{22} - K_1 \tilde{K}_2 A_{12})^T; \quad B^* = (\bar{K}_2^L A_{12})^T. \quad (16)$$

Тогда выполнение условия (2) обеспечивается требуемым расположением собственных чисел матрицы $A^* + B^* \eta^T$, задание которых путём выбора матрицы η является классической задачей модального управления.

Таким образом, решение поставленной задачи возможно, если выполняется условие (14), а пара (A^*, B^*) , определяемая формулами (16), является полностью управляемой по Калману.

Алгоритм синтеза. Обобщив полученные результаты, сформулируем алгоритм расчёта коэффициентов наблюдателя состояния динамической системы при наличии параметрических возмущений и отсутствии информации о входных воздействиях.

1. Задать числовые значения матриц коэффициентов модели (1), требуемый закон распределения полюсов наблюдателя, информацию о допустимости или не допустимости дифференцирования выходного сигнала.

2. Проверить выполнение условия (14). Если оно выполняется, то можно переходить к следующему шагу. В противном случае предложенный метод не применим.

3. Рассчитать матрицы коэффициентов по формулам (16) и оценить управляемость пары (A^*, B^*) . Если она полностью управляема, то можно переходить к следующему шагу. В противном случае рекомендуется изменить требования к динамике наблюдателя или использовать иной алгоритм расчёта.

4. Решить задачу модального управления, обеспечив выбором матрицы η требуемое расположение собственных чисел матрицы $A^* + B^* \eta^T$.

5. Вычислить матрицу наблюдений по формуле (15).

6. Сформировать уравнения наблюдателя. Если дифференцирование выходного сигнала допускается, то используется уравнение (9). В противном случае уравнение динамики наблюдателя задаётся формулой (11), а выражение для оценки вектора x_2 – формулой (12).

Конец алгоритма.

Выводы. Предложен новый способ оценивания состояния технической системы при наличии параметрических возмущений и отсутствии информации о входных воздействиях. Сформулированы условия разрешимости задачи и пошаговый алгоритм расчёта коэффициентов наблюдателя, обеспечивающего асимптотическое стремление к нулю ошибки оценивания. Полученные результаты могут быть использованы на практике для построения систем диагностики технических объектов, характеристики которых изменяются с

течением времени по известному закону.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-38-00042).

Список литературы

1. Мироновский Л. А. Функциональное диагностирование динамических систем. СПб.: Научное издание, 1998. 256 с.
2. Кузюков Н.Т. Модальное управление и наблюдающие устройства. М.: Машиностроение, 1976. 184 с.
3. Zheng G., Boutat D., Wang H. A nonlinear Luenberger-like observer for nonlinear singular systems // Automatica. 2017. Vol. 86. P. 11–17.
4. Асанов А. З., Демьянов Д. Н. Аналитический синтез функционального наблюдателя состояния билинейной динамической системы // Автометрия. 2017. № 4. С. 26–34.
5. Буков В. Н. Вложение систем. Аналитический подход к анализу и синтезу матричных систем. Калуга: Изд-во Н. Ф. Бочкаревой, 2006. 720 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ДОРОЖНЫХ ЗНАКОВ ДЛЯ СИСТЕМ ADAS

Зиятдинов Рустем Раисович, Биктимиров Равиль Алмазович

Набережночелнинский институт К(П)ФУ, г. Набережные Челны, Россия
(Россия, 423810, Набережные Челны, пр-кт Мира, д. 68/19)

Аннотация. Современные системы помощи водителю (ADAS) требуют наличия функции распознавания окружающей обстановки для информирования водителя и принятия управленческих решений. Для решения задач распознавания образов необходимо использовать один из методов классификации изображений. На сегодняшний день существует достаточно много подобных алгоритмов, отличающихся качеством и скоростью распознавания.

В данной работе проведен сравнительный анализ алгоритмов классификации в задачах распознавания дорожных знаков на основе базы GTSRB.

Результаты работы показали, что наиболее перспективными методами классификации в задачах распознавания изображений являются методы опорных векторов и k – ближайших соседей.

Abstract. Modern driver assistance systems (ADAS) require an environmental recognition function to inform the driver and make management decisions. It is essential to use one of the methods for classifying images in order to solve pattern recognition problems. Currently, there are quite a few similar algorithms that differ in quality and speed of recognition.

This paper gives a comparative analysis of the classification algorithms. The analysis was carried out on the example of road signs recognition based on the database of GTSRB.

The results of the work showed that the most promising methods of classification in the problems of image recognition are the methods of support vectors and k-nearest neighbors.

Ключевые слова: распознавание образов, алгоритмы классификации изображений

Введение

Распознавание образов является одной достаточно сложной задачей ввиду разнообразия, как распознаваемых объектов, так и используемых методов. Необходимость в таких системах проявляется в разных областях – начиная от распознавания неисправностей в системах диагностики до управления беспилотными транспортными средствами [1-4].

Одной из проблем в теории распознавания образов, является задача классификации, то есть соотнесение изображения к одному из классов. В данной работе представлено сравнение алгоритмов классификации в задаче распознавания дорожных знаков.

Задача классификации

Как правило, в задачах классификации имеется множество объектов, разделенных определённым образом на классы. Для заданных объектов известно, к каким классам они относятся. Данные объекты называются обучающей выборкой. Классовая принадлежность всех остальных объектов неизвестна. Задача классификации заключается в том, чтобы определить классовую принадлежность (классифицировать) произвольного объекта.

Известно множество алгоритмов классификации. Основными из них являются:

1. Метод опорных векторов (SVM).
2. EM-алгоритм (Expectation-maximization algorithm).
3. Метод k ближайших соседей (k-NN).
4. Дерево принятия решений (Decision Tree).
5. Наивный байесовский классификатор (Naive Bayes classifier).

Данные алгоритмы широко используются в компьютерном зрении: от поиска особенностей при помощи обученного классификатора для слежения, сегментирования сцен, до более простых задач, таких как классификация объектов и кластеризация изображений.

Существуют различные открытые базы изображений дорожных знаков. Самые крупные из них: немецкая (GTSRB, The German Traffic Sign Recognition Benchmark), шведская (STS), бельгийская (BTSD, Belgium Traffic Sign Dataset), и американская (LISA, Laboratory for Intelligent and Safe Automobiles).

В таблице 1 представлены сравнительные характеристики этих баз изображений. Для комплексного обучения и тестирования классификаторов

необходимо, чтобы количество классов знаков и количество изображений, приходящийся на один класс, было максимальным.

В шведской базе изображений (STS) представлено ограниченное количество знаков, что затруднит оценку обобщаемости работы алгоритмов классификации на большее количество классов.

В бельгийской (BTSD) и американской (LISA) базах содержатся относительно небольшое количество изображений, приходящихся на один класс, что усложняет тестирование классификаторов, требующих больших обучающих выборок [5].

Таблица 1. Характеристики баз данных знаков

| | S | ST | LISA | BTSD | GTSRB |
|-------------------------------------|----|----|------|-------|-------|
| Количество знаков | | 7 | 47 | 108 | 43 |
| Общее количество изображений знаков | 88 | 34 | 7855 | 13444 | 51839 |

Учитывая вышеприведенные факторы, для тестирования алгоритмов классификации была использована база дорожных знаков GTSRB[6]. На рисунке 1 приведен пример изображений дорожных знаков из данной базы.



Рисунок 1. Примеры изображений базы GTSRB

Ввиду большого количества классов и изображений в данной базе, при обучении и тестировании алгоритмов классификации использовалось только часть: 10590 изображений, разделенных на 10 классов.

Данная выборка была поделена на две части: для предварительного обучения использовалось 5295 изображений дорожных знаков, а дальнейшее тестирование на качество работы алгоритма проходило на тестовой выборке, состоящей также из 5295 изображений.

Для изображений проводилась предварительная обработка:

- уменьшение до размера 30 на 30 пикселей;
- преобразование в оттенки серого (grayscale);
- преобразование по адаптивному порогу (adaptive thresholding) для выделения интересующих признаков изображения [7,8]. Работа данного алгоритма при преобразовании изображений знаков представлена на рисунке 2.

В качестве библиотеки, которая содержит вышеперечисленные алгоритмы машинного обучения, использовалась OpenCV версии 2.3.1.

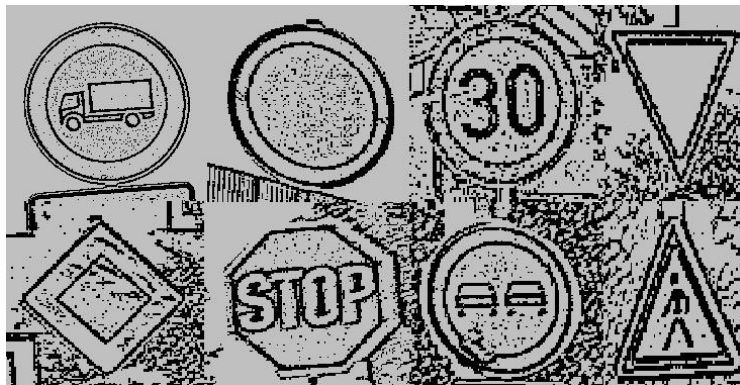


Рисунок 2. Результат применения алгоритма преобразования по порогу

Тестирование проводилось на одном персональном компьютере.

В таблице 2 приведены полученные в ходе сравнения данные по времени обучения, количеству правильно распознанных цифр из 5295 примеров тестовой выборки, времени распознавания всей тестовой выборки и размера полученной классификационной модели (структуры).

Таблица 2. Результаты работы алгоритмов классификации

| Алгоритм | Время обучения, мс | Количество правильных распознаваний | Время распознавания тестовой выборки, мс | Размер полученной классификационной модели (структуры), КБайт |
|------------------------|--------------------|-------------------------------------|--|---|
| SVM | 4979 | 4547 | 8007 | 9858 |
| k-NN | 2115 | 4070 | 33310 | 5847 |
| Decision Tree | 1579 | 3531 | 7459 | 12107 |
| Naïve Bayes classifier | 131722 | 0 | 290877 | 35949 |
| EM | 39062 | 511 | 5813 | 37545 |

Алгоритм SVM показал результат распознавания в 86%, что является лучшим показателем при времени распознавания в 8 секунд. Способность

данного алгоритма разделять линейно неразделимые выборки является ключевым при такой высокой размерности входных векторов в 900 элементов.

Алгоритм k-ближайших соседей показал точность в 77%, что также является очень высоким показателем, однако время распознавания составило 33 секунды. Данный фактор подтверждает, что поиск ближайших соседей в сверхбольших выборках затруднен и является узким местом алгоритма.

Алгоритм дерева принятия решений показал точность всего в 67% при времени распознавания в 7.5 секунды. Низкая точность алгоритма обусловлена недостаточной глубиной и оптимальностью исходного дерева.

Алгоритм EM показал точность 9.7%, при времени распознавания в 5.8 секунды. Наивный байесовский классификатор оказался не применим в данной задаче, так как количество правильно распознанных изображений равно нулю.

Заключение

Как показывает данное сравнение, наиболее перспективными методами классификации в задачах распознавания изображений являются методы опорных векторов (SVM) и k – ближайших соседей (k-NN).

Самым быстрым временем обучения и наименьшим размером классификационной модели обладает метод k – ближайших соседей, но при этом уступает методу опорных векторов, как по времени распознавания тестовой выборки, так и по количеству правильно распознанных изображений.

Остальные три метода хоть и являются методами классификации, но плохо применимы к данной задаче, ввиду малого количества правильно распознанных объектов тестовой выборки, большому размеру классификационной модели и времен распознавания, особенно для наивного байесовского классификатора.

Литература

1. Ziyatdinov R R, Biktimirov R A, Klochkova K V. The comparative analysis of classification of algorithms in the problems of pattern recognition. J. Fundam. Appl. Sci., 2017, 9(1S), 1790-1797
2. Ziyatdinov R.R., Mukhametzyanov V.R., Nabiullina G.I. Application of neural networks for the diagnosis of depth sucker rod pumps // International Journal of Applied Engineering Research, Volume 10, Issue 24, 1 December 2015, Pages 45022-45026
3. Применение искусственной нейронной сети в задачах диагностирования работы штанговых глубинных насосов / «Информационные технологии. Автоматизация. Актуализация и решение проблем подготовки высококвалифицированных кадров (ИТАП-2016)»: сборник трудов международной научно-практической конференции. – Набережные Челны, 2016. – С. 83-87.
4. Ziyatdinov R., Shigabiev R., Talipov D. Automated road marking recognition system. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 240 (2017) 012070 doi:10.1088/1757-899X/240/1/012070.

5. Шахуро В. И., Конушин А. С. Российская база изображений автодорожных знаков // Компьютерная оптика. — 2016. — Т. 40, № 2. — С. 294–300.

6. GTSRB: German Traffic Sign Recognition Benchmark. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://benchmark.ini.rub.de/?section=gtsrb&subsection=news> (дата обращения 22.10.2017).

7. OpenCV: Adaptive Thresholding. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://docs.opencv.org/trunk/d7/d4d/tutorial_py_thresholding.html (дата обращения 22.10.2017).

8. Bradsky G., Kaehler A. Learning OpenCV. Computer Vision with the OpenCV Library – O'Reilly, 2008.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

А.Ж. Искакова

Карагандинский государственный технический университет
Научный руководитель – доктор PhD, ст. преп. В.В. Юрченко,
к.т.н., ст. преп. Т.Ю. Никонова

В статье приведено краткое описание значимости математического моделирования в системах автоматизированного проектирования. Дано определение математическому моделированию технологических процессов. Обоснованы требования, предъявляемые к математическим моделям технологических процессов, как объектам проектирования. Статья дополнена таблицей классификаций и типов математических моделей.

In the article a brief description of the importance of mathematical modeling in computer aided design systems is given. The definition of mathematical modeling of technological processes is given. The requirements for mathematical models of technological processes as objects of design are justified. The article is supplemented with a table of classifications and types of mathematical models.

Ключевые слова: модель, система, автоматизация, проектирование, процесс, машиностроение.

В системах автоматизированного проектирования (САПР) выполнение процедур и процессов основывается на оперировании математическими моделями (ММ).

Математическая модель технологического процесса – это система математических объектов (переменных, чисел, множеств, графов, матриц и т.д.)

и отношений между ними, которая отражает свойства технологического процесса [1].

Благодаря им возможен прогноз решения вариантов различных технологических задач проектирования. Посредством алгоритмов разрабатываются программные обеспечения, тем самым выполняется автоматизация проектирования ТП.

При создании систем автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) самым важным и сложным этапов является разработка математического обеспечения.

Математическим обеспечением является совокупность методов, математических моделей и алгоритмов.

В САПР ТП математическое обеспечение включает в себя:

– ММ объекта проектирования (технологического процесса или его фрагментов) и предмета производства (сборочной единицы, детали) в тех состояниях, которые соответствуют разным этапам проектируемого технологического процесса;

– описание принятой технологии автоматизированного проектирования путем формализации.

В машиностроении технологические процессы — это сложные динамические системы, в комплексе которых взаимосвязаны оборудования, инструменты, обрабатываемые заготовки, вспомогательные устройства, транспортные устройства и средства технологического оснащения [2].

Технологические процессы в машиностроении в общем случае представляются в виде многомерных объектов (рисунок 1, а), где на входе, действует вектор входных переменных $\bar{x}(\tau)$:

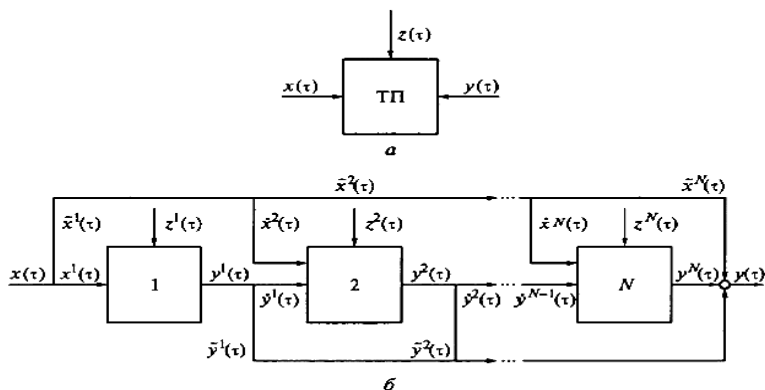
$$\bar{x}(\tau) = [x_1(\tau), x_2(\tau), \dots, x_n(\tau)],$$

где $x_1(\tau), x_2(\tau), \dots, x_n(\tau)$ — составляющие вектора, характеризуются полным набором свойств полуфабрикатов и заготовок (размерами и отклонениями, шероховатостью и микротвердостью поверхностей, структурными параметрами и т.д.), используемых объекте.

Вектор $\bar{y}(\tau)$ описывает выходные переменные:

$$\bar{y}(\tau) = [y_1(\tau), y_2(\tau), \dots, y_m(\tau)],$$

где $y_1(\tau), y_2(\tau), \dots, y_m(\tau)$ — составляющие вектора, характеризуются свойствами готовой детали (взаимного расположения поверхностей, точностью формы, размеров, микротвердостью и шероховатостью поверхностей и т.д.).



а) без разделения на технологическую операцию; б) с разделением на технологическую операцию; 1,2,..., N – порядковый номер технологической операции

Рисунок 1 – Схема представления технологического процесса:

Составляющими как выходного, так и входного векторов являются конструктивно-технологические свойства деталей, заготовок и отражающие технологического процесса технико-экономические показатели.

Вектор $\bar{z}(\tau)$ описывает параметры, которые характеризуют условия протекания технологических процессов:

$$\bar{z}(\tau) = [z_1(\tau), z_2(\tau), \dots, z_k(\tau)],$$

где $z_1(\tau), z_2(\tau), \dots, z_k(\tau)$ — составляющие вектора, например, частота вращения, подача, давление, температура и факторы, которые оказывают дестабилизирующие действия на ход технологических процессов.

Для реальных процессов, размерность векторов очень велика, поэтому их составляющие учесть невозможно.

Структура ТП это последовательно соединенные элементы — технологических операций. К каждой операции присущи векторы входных, выходных переменных $\bar{x}^j(\tau)$ и $\bar{y}^j(\tau)$, а также вектор условий $\bar{z}^j(\tau)$.

Только частью составляющих вектора входных переменных ТП является составляющая вектора входных переменных первой технологической операции (рисунок 1, б) [2]:

$$\bar{x}^1(\tau) \in \bar{x}(\tau), \bar{x}^1(\tau) \notin \bar{x}(\tau).$$

Составляющая $\bar{y}^1(\tau)$, включается в вектор выходных переменных первой операции $\bar{y}^1(\tau)$, которая не будет изменяться и войдет в вектор $\bar{y}^1(\tau)$ выходных

переменных процесса и для второй операции в составляющую входных переменных. Для множества составляющих вектора $\bar{y}^{-1}(\tau)$:

$$\bar{y}^{-1}(\tau) = \bar{y}^{-1}(\tau) \cup \bar{y}^{-1}(\tau),$$

где \cup – символ объединения множеств.

Для второй операции составляющей является:

$$\bar{x}^{-2}(\tau) \in \bar{x}^{-1}(\tau), \bar{x}^{-2}(\tau) \neq \bar{x}^{-1}(\tau).$$

Вектор входных переменных для второй технологической операции:

$$\bar{x}^{-2}(\tau) = \bar{y}^{-1}(\tau) \cup \bar{x}^{-2}(\tau).$$

Математическая модель ТП, как объект проектирования должна удовлетворять определенным требованиям. Это требования универсальности, точности, адекватности и экономичности.

Требование к универсальности означает полное отражение в ней свойства реального объекта. Выбор совокупности выходных параметров неоднозначен, для большинства объектов перечень и число учитываемых свойств и их выходных параметров сравнительно невелики, стабильны и составляют типовой набор выходного параметра [3].

Требование точности характеризует степень совпадения параметров реального объекта с параметрами отраженными в математической модели. Точность математической модели различна, в зависимости от условий его функционирования. Внешние параметры характеризуют эти условия.

Модель будет считаться адекватной, если в ней отражены заданные свойства объекта с допустимой точностью. Объекты могут обладать погрешностью не выше заданных.

Экономичность характеризуется затратами вычислительных ресурсов (память компьютера, время работы) на работу в ней и реализацию.

Основные признаки классификации и типы математических моделей, применяемые в САПР, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Признаки классификации ММ

| Признаки классификации | Математические модели |
|---|--|
| Степени детализации описания внутри одного уровня | Полные, макромоделли |
| Характер отображаемых свойств | Структурные, функциональные |
| Способы представления свойств объекта | Аналитические, алгоритмические, имитационные |
| Принадлежности к иерархическому уровню | Микроуровня, макроуровня, метауровня |
| Способы получения модели | Теоретические, эмпирические |

Следует отметить, что ММ объектов технологического проектирования затруднено, по причинам:

- недостаточно разработаны практические приложения аппарата математического моделирования к моделированию технологических объектов. Отсутствие ясных рекомендации и правил выбора определенных методов, при синтезе ММ объектов;
- затруднена формализация технологических задач, это значительно усложняет принятие решения;
- не представляется возможным сравнение между собой качеств ММ объектов, при применении различных методов моделирования;
- результаты моделирования интерпретируют в решения, ошибочно их отождествляя.

Список использованной литературы:

1. Волков С.А. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов: Учебное пособие – Рыбинск РГАТА, 2005.–108 с.
2. Кондаков А.И. САПР технологических процессов: учебник для студ. высш. учеб. заведений. – 2-ое изд. – М.: Изд. центр «Академия», 2008. – 272 с.
3. Корячко В.П., Курейчик В.М., Норенков И.П. Теоретические основы САПР: Учебник –Москва Энергоатомиздат, 1987.–400 с.

КОМБИНАТОРНО-ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АППАРАТУРЫ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Истоппенников М.А., Павлов П.П., Гараева А.Р., Соловьева С.И.

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» 420066,
г. Казань, ул. Красносельская, 51

Аннотация. В докладе рассматривается вопрос построения комбинаторно-диагностической модели КПА, на основе комбинаторно-функционального подхода к рассмотрению её структуры, т.к. аппаратурное деление КПА не всегда совпадает с функциональным.

Abstract. In the report, the question of constructing a combinatorial-diagnostic model of CPA is considered, because of a combinatorial-functional approach to the study of its structure. The hardware division of the CPA does not always coincide with the functional one.

Ключевые слова: контрольно-проверочная аппаратура, комбинаторно-диагностическая модель, аппаратурное деление, аппаратура сложных технических систем.

Предупреждение отказов и продление сроков службы контрольно-проверочной аппаратуры (КПА) сложных технических систем основывается в значительной степени на технологиях оперативного диагностирования [1]. Рассматривая проблемы диагностирования КПА, можно заключить, что для их решения необходимо:

- оценить влияние характеристик безотказности КПА и средств ее диагностирования, а также глубины локализации отказов;
- разработать диагностическую модель КПА для определения глубины алгоритмической локализации отказов без дополнительных средств диагностирования;
- разработать методику анализа структуры КПА, алгоритма ее работы и получения диагностической модели;
- выработать практические рекомендации по совершенствованию средств и процедур диагностирования КПА, повышающие эффективность ее применения [2].

Тенденция перехода к техническому обслуживанию и ремонту по состоянию распространяется на все новые изделия машиностроения и приборостроения. Принятие решений по обслуживанию и ремонту основывается в значительной степени на результатах прогнозирования технического состояния с оптимальным выбором модели диагностирования и диагностических параметров [3].

Проблема обеспечения надёжного функционирования сложных технических систем, к которым относится КПА существующих и перспективных комплексов высокоскоростного наземного транспорта (ВСНТ), приобретает в настоящее время большое значение. Это объясняется усложнением КПА, т.к. расширяются задачи, которые выполняются перспективными комплексами ВСНТ [4].

Условия длительной эксплуатации комплексов ВСНТ, при ограничении времени восстановления отказавшей КПА, предполагают поиск и устранение отказов по новым принципам. Это приводит к необходимости создания новых диагностических моделей для определения и прогнозирования технического состояния комплексов ВСНТ, поиска отказов и их устранения, а также к разработке принципов и методов построения новых систем диагностирования, которые учитывают вышеуказанные характеристики. Для получения приближенной оценки состояния выделяют совокупность прямых и косвенных признаков, отображающие наиболее вероятный дефект, связанный со снижением работоспособности и возникновением отказов. Выбор диагностических моделей осуществляется формализованными методами с формированием уравнений, описывающих взаимосвязь значений входных, структурных и функциональных параметров, которые учитывают структурные особенности диагностируемой системы [5].

В докладе рассматривается вопрос построения комбинаторно-диагностической модели КПА, на основе комбинаторно-функционального

подхода к рассмотрению её структуры, т.к. аппаратурное деление КПА не всегда совпадает с функциональным.

Литература

1. Павлов П.П., Хаертдинова А.Р., Корольков А.Ю., Соловьева С.И. Диагностирование отказов электротехнического оборудования электроподвижного состава. // В сборнике: Вопросы образования и науки теоретический и методический аспекты. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: Часть 2. 2015. С.108-109.
2. Литвиненко Р.С., Павлов П.П., Гуреев В.М., Мисбахов Р.Ш. Оценка технического уровня сложных систем на этапе разработки // Вестник машиностроения. № 6. 2015.
3. Павлов П.П., Хаертдинова А.Р., Залялов Р.Р. Выбор оптимального варианта многофункциональной технической системы //Международная научно-практическая конференция «Современные тенденции в образовании и науке»: Часть 9.2014. С.102-103.
4. Литвиненко Р.С., Павлов П.П., Аухадеев А.Э. Практическое применение нормального закона распределения в теории надежности технических систем // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2016. №4(546). С.96-99.
5. Литвиненко Р.С., Павлов П.П. Методы моделирования процесса функционирования электротехнического комплекса // Наука и современность. 2015. №4(6). С.84-91.

УДК 536.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПАРОКОМПРЕССИОННОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ С ПОЛНЫМ ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ РАБОЧЕГО ТЕЛА

Карелин Д.Л., Болдырев А.В., Болдырев С.В., Белоусов А.М.

Набережночелнинский институт КФУ
423810, РТ, г.Набережные Челны, пр-т Мира, д.13

Аннотация. Представлена математическая модель системы охлаждения с парожидкостной компрессионной установкой. Проведено моделирование динамики параметров парокомпрессионной установки при запуске системы в режиме охлаждения. Замечено, что температуры испарения и конденсации при принятых допущениях стабилизируются достаточно быстро: в испарителе – в течение 0,5 с, в конденсаторе – 2 с.

Abstract. A mathematical model of cooling system with a vapor-liquid compression unit is presented. The modeling of dynamics of the parameters of the

vapor compression system during the system start-up in the cooling mode was carried out. It is noted that with the accepted assumptions the evaporation and condensation temperatures stabilize fast enough: in the evaporator - in 0.5 s, in the condenser - in 2 s.

Ключевые слова: парокомпрессионная система охлаждения, теплоотдача, температурный напор, компрессор, кипение, конденсация.

Система охлаждения является одним из основных элементов, отвечающих за стабилизацию теплового состояния энергетических агрегатов. В результате интенсивного развития отраслей производства тепловых и электрических двигателей мобильных машин в направлении повышения удельной мощности и экологической безопасности вопрос повышения эффективности их охлаждения остается актуальным. На данном вопросе акцентировано внимание в работах многих авторов [1-6], которые предлагают различные варианты интенсификации процесса теплообмена, в частности за счет повышения температур теплоносителя. Но этот способ применим не для всех систем.

Есть работы [7, 8], авторы которых предлагают повысить эффективность систем охлаждения увеличением теплоотдачи за счет фазовых переходов теплоносителей в теплообменных аппаратах. В частности, в работах [9, 10] предлагается метод охлаждения, с использованием парокомпрессионных систем охлаждения (ПКСО), объединяющий в себе достоинства повышения температуры и фазового перехода теплоносителя. Моделирование динамики параметров ПКС может быть использовано для предсказания продолжительности прогрева и охлаждения энергетических агрегатов, теплообменников и аппаратуры, а также других характерных временных интервалов сбора данных, что важно при проектировании блоков управления.

В настоящей работе предложена математическая модель ПКСО (рис. 1), включающая в себя модели компрессора, теплообменников (конденсатора и испарителя), расширительного клапана и позволяющая рассчитывать переходные характеристики температур конденсации и испарения (кипения).

Ниже представлены основные уравнения математической модели ПКСО, которые использовались для исследования работы цикла.

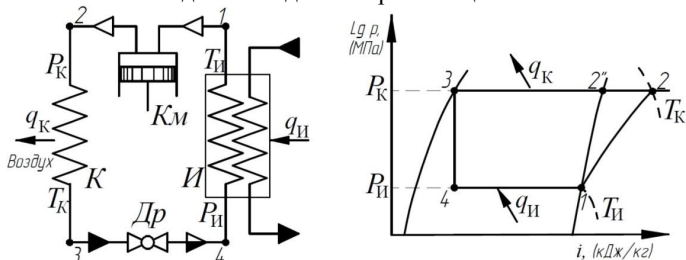


Рис. 1. Контур циркуляции рабочего агента и тепловой цикл парокомпрессионной системы охлаждения.

1. Компрессор

Удельная работа адиабатного сжатия компрессора определялась по уравнению:

$$l_a = P_1 \cdot v_1 \cdot \frac{k}{k-1} \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]. \quad (1)$$

Удельная индикаторная работа компрессора

$$l_i = \frac{l_a}{\eta_{ад}} \quad (2)$$

где $\eta_{ад}$ – адиабатный КПД для ротационного пластинчатого компрессора принимался равным 0,82 [11].

2. Конденсатор

Коэффициент теплоотдачи при конденсации рабочего агента в круглых трубах [11]:

$$\alpha_{\kappa} = 1,26 \cdot \frac{\lambda_{\kappa} \cdot \gamma_{\kappa}^{0,1}}{(r_{\kappa} \cdot v_{\kappa})^{0,5} \cdot \gamma_{\kappa}^{0,1} \cdot \sigma_{\kappa}^{0,3}} \cdot q^{0,5} \cdot L^{0,35} \cdot (d_{\kappa-в})^{-0,25} \quad (3)$$

Коэффициент теплоотдачи воздуха в конденсаторе, представляющем собой трубчатый теплообменный аппарат с шахматным расположением оребренных труб [12]:

$$\alpha_{в-охл} = 0,23 \cdot \frac{\lambda_{в-к}}{b} \cdot \left(\frac{v_{фв-к} \cdot b}{v_{в-к}} \right)^{0,65} \cdot \left(\frac{b}{d_{\kappa,н}} \right)^{0,54} \cdot \left(\frac{h}{b} \right)^{0,14} \cdot \varepsilon_c \cdot \varepsilon_z \quad (4)$$

Дифференциальное уравнение энергии для конденсатора (двухфазная область):

$$G_{\kappa} \cdot C_{p_{\kappa}} \left(\frac{dT_{\kappa}}{dt} \right) = G_{\kappa} \cdot (i''_2 - i'_3) - F_{\kappa} \cdot \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{в-охл}} + \frac{\delta}{\lambda_M} + \frac{1}{\alpha_{\kappa}}} \cdot \frac{(T_{\kappa} - T_{в}') - (T_{\kappa} - T_{в}'')}{\ln \left(\frac{(T_{\kappa} - T_{в}')}{(T_{\kappa} - T_{в}'')} \right)} \quad (5)$$

3. Испаритель

Коэффициент теплоотдачи при кипении рабочего агента в круглых трубах [13]:

$$\alpha_u = 0,65 \cdot 10^5 \cdot \frac{\lambda'_u}{d_{u-в}} \cdot \left(\frac{v''_u \cdot d_{u-в}}{v''_u} \right)^{0,73} \cdot \left(\frac{v'_u \cdot d_{u-в}}{v'_u} \right)^{-0,73} \cdot \left(\frac{v'_u}{a'_u} \right)^{0,3} \cdot \left(\frac{L_u}{d_{u-в}} \right)^{-1,69} \quad (6)$$

Коэффициент теплоотдачи тосола в многоходовом кожухотрубном теплообменнике-испарителе определялся из уравнения подобия для обтекания пучка труб с шахматным расположением [11]

$$\alpha_{мос-у} = 0,41 \cdot \frac{\lambda'_{мос-у}}{d_{у,н}} \cdot \left(\frac{v_{мос-у} \cdot d_{у,н}}{v_{мос-у}} \right)^{0,6} \cdot \left(\frac{v_{мос-у}}{a_{мос-у}} \right)^{0,33} \quad (7)$$

Дифференциальное уравнение равновесия энергии для испарителя (двухфазная область):

$$G_{\kappa} \cdot C_{p_u} \left(\frac{dT_u}{dt} \right) = F_u \cdot \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{тос-у}}} + \frac{\delta_{\text{тп-у}}}{\lambda_{\text{м}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{у}}}} \cdot \frac{(T''-T_u)-(T''-T_u)}{\ln \left(\frac{(T''-T_u)}{(T''-T_u)} \right)} - G_{\kappa} \cdot (i_1 - i_4). \quad (8)$$

При составлении дифференциальных уравнений сделаны следующие допущения: изотальпийность процесса дросселирования в расширительном клапане; постоянство температур тосола и воздуха; постоянство массовых расходов теплоносителей; равенство температур внутренней поверхности стенок труб испарителя и конденсатора на границе паровой пленки температурам T_u , T_{κ} процессов на диаграмме соответственно (рис. 1).

В результате выполненных по уравнениям (2)-(8) расчетов построены переходные характеристики температур рабочего агента при испарении и конденсации при запуске системы в режиме охлаждения и температуре окружающей среды 25°C (рис. 2).

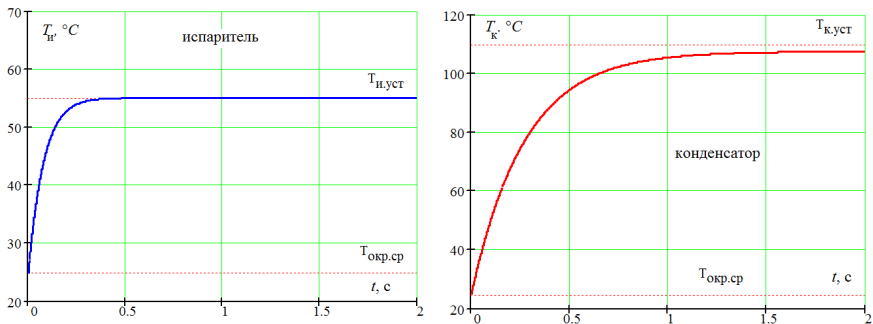


Рис. 2 Переходные характеристики температур рабочего агента при испарении и конденсации при запуске системы в режиме охлаждения и температуре окружающей среды 25°C.

Замечено, что ввиду сделанных допущений в математической модели, температуры стабилизируются достаточно быстро (рис. 2). Причем температура испарения достигает установившегося значения в течение 0,5 с, а температура конденсации – 2 с, что может быть связано со значительной разницей теплоемкостей воздуха и тосола.

Дальнейшее развитие математической модели предполагает учет: изменения температур тосола и воздуха, массовых расходов теплоносителей; образования паровой пленки на внутренних поверхностях труб; затрат теплоты на прогрев самих теплообменников, математической модели привода компрессора и регулировки расширительного клапана.

Литература

1. Ливенцев Ф.Л. Высокотемпературное охлаждение поршневых

двигателей внутреннего сгорания. / Ф.Л. Ливенцев. М.: Машиностроение, 1964. 204 с.

2. Патрахальцев Н. Н. Форсирование двигателей внутреннего сгорания наддувом. / Н. Н. Патрахальцев, А. А. Савастенко. М.: Легион-Автодата, 2004. 176 с.

3. Кривов В. Г. Теплоотвод в зарубашечное пространство форсированного тепловозного дизеля при его высокотемпературном охлаждении / В. Г. Кривов, С. А. Синатов, Ф. Г. Ким, Н. А. Устинов // Двигателестроение. 1986. № 11. С. 5-11.

4. Кравченко С. А. Дизель-энергетическая установка магистрального тепловоза на базе высокофорсированного тепловозного дизеля с системой утилизации теплоты и высокотемпературного охлаждения: автореф. канд. техн. наук. СПб.: ЦНИДИ. 1993. 24 с.

5. Мкртумян Э.А. Охлаждение двигателя дизеля при повышенных температурах охлаждающей воды. / Э.А. Мкртумян // Труды Краснознаменного Московского ММИ им. Н.Э. Баумана, 1938, выпуск 38-39/4, 72 с.

6. Алтынова Н.Е. Интенсификация теплообмена в системе охлаждения мощных электровозных преобразовательных устройств. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Новочеркасск: НПИ, 1984. 197 с.

7. Склифус Я.К. Сокращение энергопотребления системы охлаждения дизеля тепловоза изменением функциональной схемы и способа передачи тепла : дис. ... канд. техн. наук / Я.К. Склифус. Ростов-на-Дону : РГУПС, 2015. 159 с.

8. Утиленко А. И. Принципы построения высокоэффективных систем охлаждения электронных приборов: дис. ... докт. техн. наук. Рязань. 2009. 419 с.

9. Карелин Д.Л. Моделирование системы охлаждения с парожидкостной компрессионной установкой / Д.Л. Карелин, В.М. Гуреев, В.Л. Мулюкин // Вестник КГТУ им. Туполева. Казань: редакция журнала КНИТУ КАИ, 2015. №5. С. 5-10.

10. Карелин Д.Л. Методика расчета параметров термодинамического цикла пароконденсационной системы охлаждения / Д.Л. Карелин // Труды Академэнерго. Казань, 2017. №3. С. 23-31.

11. Розенфельд Л.М., Ткачев А.Г. Холодильные машины и аппараты. М.: ГИТЛ, 1960. 666 с.

12. Воронин Г.И., Дубревский Е.В. Эффективные теплообменники. М.: Машиностроение, 1973. 96 с.

13. Авчухов В.В., Паюсте Б.Я. Задачник по процессам тепломассообмена. Учебное пособие для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1986. 144 с.

ЭКСТЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПАРОКОМПРЕССИОННОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ТЕПЛООБМЕННИКОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФРЕОНА-132В

Карелин Д.Л., Болдырев А.В., Болдырев С.В., Белоусов А.М.

Набережночелнинский институт КФУ
423810, РТ, г.Набережные Челны, пр-т Мира, д.13

Аннотация. Проведен экстергетический анализ парокомпрессионной системы охлаждения с промежуточным теплообменником с использованием фреона-132b при температурах окружающей среды $T_{\text{о.с.}}=25^{\circ}\text{C}$, конденсации $T_{\text{к}}=110^{\circ}\text{C}$ и испарения (кипения) $T_{\text{и}}=55^{\circ}\text{C}$. В результате анализа был получен экстергетический КПД установки $\eta_{\text{е}}=15.5\%$, что соизмеримо с КПД $\eta_{\text{е}}=18.41\%$ аналогичной установки в которой в качестве рабочего агента использовался изобутан (R600a).

Abstract. Exergetic analysis of vapor compression refrigeration system with intermediate heat exchanger using Freon-132b at ambient temperature -25°C , condensation temperature 110°C and evaporation (boiling) temperature 55°C was carried out. As a result of the analysis we obtained the exergy efficiency of the installation $\eta_{\text{е}}=15.5\%$ which is close by value with the efficiency $\eta_{\text{е}}=18.41\%$ of a similar installation using isobutane (R600a) as a working agent.

Ключевые слова: экстергетический анализ, парокомпрессионная система охлаждения, эксергия теплового потока, эксергия потока массы, компрессор, кипение, конденсация.

Современный уровень развития парокомпрессионных трансформаторов тепла: холодильных машин, кондиционеров и тепловых насосов, предлагает широкий выбор рабочих холодильных агентов (фреонов). Одними из основных факторами, определяющими тип используемого холодильного агента, являются минимальный, либо полностью отсутствующий озоноразрушающий потенциал и высокая энергетическая эффективность в интервале рабочих температур. Например, изобутан (R600a) получил широкое распространение в европейском секторе производства холодильников, морозильников в течение последнего десятилетия и используется даже в Японии и Корее. Пропан (R290) и пропилен (R1270) применяются в тепловых насосах в Европе. Хорошо известно, что углеводороды имеют низкую стоимость, доступность, совместимость с обычным минеральным маслом и экологичность [1]. Эти холодильные агенты хороши для использования в бытовых приборах, но по причине относительно низких значений температуры кипения при нормальных условиях и

температуры критической точки, а также горючести, в частности изобутан (R600a) [2], не пригодны для использования в парокompрессионных системах охлаждения энергетических агрегатов [3].

Одним из возможных решений является применение фреона-132b, с приемлемым диапазоном рабочих температур (температура кипения при нормальных $T_0=46,8^\circ\text{C}$; температура критической точки $T_{кр}=218^\circ\text{C}$), теплофизические свойства которого приведены в работе [4].

В настоящей работе проведен эксергетический анализ парокompрессионной системы охлаждения с промежуточным теплообменником с использованием фреона-132b. Оно позволяет наглядно оценить термодинамическую эффективность процессов внутри системы и отдельных ее элементов, а также выявить источники потерь и определить пути совершенствования системы в целом [5].

На рисунке 1 представлен термодинамический цикл анализируемой парокompрессионной системы охлаждения с промежуточным теплообменником с использованием фреона-132b.

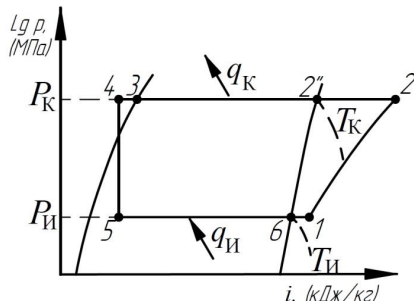


Рис. 1 Термодинамический цикл парокompрессионной системы охлаждения с промежуточным теплообменником с использованием фреона-132b.

Потери эксергии при диссипации любой системы, либо ее элемента в общем случае имеет вид [5]:

$$D = \sum E_{\text{вх}} - \sum E_{\text{вых}} \geq 0, \quad (1)$$

где $\sum E_{\text{вх}}$ — эксергия вводимая в систему; $\sum E_{\text{вых}}$ — эксергия выводимая из системы.

В развернутом виде эксергетический баланс анализируемой системы в общем случае аналогичен (1):

$$\sum D = \sum E_{q,\text{вх}} + \sum E_{G,\text{вх}} + \sum L_{\text{вх}} - \sum E_{q,\text{вых}} - \sum E_{G,\text{вых}} + \sum L_{\text{вых}}, \quad (2)$$

В уравнении (2) соответственно эксергии теплового потока, потока массы и работы определяются по соотношениям [5, 6]:

$$E_q = Q \cdot \tau_q = Q \cdot \left(1 - \frac{T_{\text{о.с.}}}{T} \right); \quad (3)$$

$$E_G = i - i_{o.c.} - T_{o.c.} \cdot (S - S_{o.c.}); \quad (4)$$

$$L = i_1 - i_2 = P_1 \cdot v_1 \cdot \frac{k}{k-1} \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]; \quad (5)$$

где Q – подводимая или отводимая теплота; τ_q – коэффициент работоспособности; i и S – энтальпия и энтропия в рабочих точках термодинамического цикла (см. рис. 1); $T_{o.c.}$ и T – температуры окружающей среды и процесса.

Подставив соотношения (3-5) для соответствующих элементов системы в равенство (2) получим баланс эксергий в относительной форме для всей анализируемой парокомпрессионной системы охлаждения:

$$\sum D = \sum Q \cdot \left(1 - \frac{T_{o.c.}}{T} \right) + L_a - L_{кпл} + \sum E_{G,ВХ} - \sum E_{G,ВЫХ}, \quad (6)$$

Эксергетический КПД системы охлаждения:

$$\eta_e = 1 - \frac{\sum D}{\sum E_{ВХ}}, \quad (7)$$

В результате выполненного по балансу эксергий расчета для $T_{o.c.} = 25^\circ\text{C}$, температуры конденсации $T_K = 110^\circ\text{C}$ и температуры испарения (кипения) $T_{И} = 55^\circ\text{C}$ был получен эксергетический КПД установки $\eta_e = 15.5\%$, что соизмеримо с результатом полученным автором [7] $\eta_e = 18.41\%$, для изобутана (R600a) при $T_{o.c.} = 20^\circ\text{C}$, температуры конденсации $T_K = 40^\circ\text{C}$ и температуры испарения (кипения) $T_{И} = -10^\circ\text{C}$.

Дальнейшее развитие расчета предполагает учет: анализ отдельных элементов системы охлаждения и минимизация внутренних потерь для повышения эксергетического КПД все системы в целом.

Литература

1. Park KJ, Seo T, Jung D. Performance of alternative refrigerants for residential air-conditioning applications. Applied Energy, 2007. Vol. 84 C. 985–991.
2. Practical Application of Refrigerant R600a Isobutane in Domestic Refrigerator Systems. Technical Information, Danfoss Compressors Co., CN.60.E2.02, 2000. <http://www.danfoss.com/>, date of access: 21.09.2007.
3. Карелин Д.Л. Численное исследование энергетических параметров каскадного цикла для парожидкостных компрессионных систем охлаждения / Д.Л. Карелин // Вестник КГТУ им. Туполева. – Казань: редакция журнала КНИТУ КАИ, 2016. №4. С. 25-30.
4. Промышленные фторорганические продукты. Справ.изд. / Б.Н. Максимов, В.Г. Баранов, В.С. Зотиков и др. Л. : Химия, 1990. 464 с.

5. Соколов, Е.Я. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения / Е.Я. Соколов, В.М. Бродянский. М. :Энергоиздат, 1981. 320 с.

6. Kotas T.J. The Exergy Method of Thermal Plant Analysis. Butterworths: London, 1985.

7. Ahmet Kabul, Onder Kizilkan, Ali Kemal Yakut. Performance and exergetic analysis of vapor compression refrigeration system with an internal heat exchanger using a hydrocarbon, isobutane (R600a). Int. J. Energy Res. 2008; Vol. 32 с. 824–836.

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С ЗАПАЗДЫВАНИЯМИ НА ПРИМЕРЕ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Каримов В.С.

Набережночелнинский институт Казанского (Приволжского) федерального университета, 423812, г.Набережные Челны, д. 68/19 (1/18)

Аннотация. Был проведен синтез системы автоматического управления для многосвязного объекта с запаздываниями по входу и состоянию на основе технологии вложения систем. Для воспроизведения вектора состояния объекта была использована компенсационно-наблюдаемая схема, компенсирующая временные задержки по управлению. На примере многосвязной модели двигателя внутреннего сгорания был реализован закон управления.

Abstract. Synthesis of automatic control system for the multivariable controlled plant with time delays on input and state vector on basis of system embedding technology was considered. To reproduce the state vector of the controlled plant, a compensation-observable scheme was used, compensatory time delays in control vector. On the example of a multivariable model of an internal combustion engine, the control law was implemented.

Ключевые слова: система автоматического управления, многосвязный объект с запаздываниями, компенсационно-наблюдательная схема, технология вложения систем, двигатель внутреннего сгорания

Запаздывания, сосредоточенные в каналах объекта, отрицательно влияют на процессы регулирования и могут привести не только к ухудшению качества процессов управления, но и к потере устойчивости всей системы управления. Поэтому их так важно учитывать при проектировании систем автоматики. Проблема управления подобными объектами усложняется по причине их многосвязности.

В работе предлагается точное аналитическое решение задачи синтеза системы автоматического управления (САУ) для многосвязного объекта с запаздываниями по управлению и состоянию на основе технологии вложения

систем [1, 2]. Предполагается, что фазовый вектор состояния объекта недоступен для непосредственного наблюдения. Определяется матричная передаточная функция регулятора или условия ее определяющие, при которой поведение системы управления будет описываться желаемой матричной передаточной функцией (МПФ). Синтез проводится по вынужденной составляющей замкнутой динамической системы. На примере модели двигателя внутреннего сгорания реализуется закон управления, компенсирующий запаздывания по входу и достижение желаемых процессов в системе управления.

Пусть наблюдаемый и управляемый линейный стационарный объект с сосредоточенными запаздываниями по управлению и состоянию может быть представлен в виде дифференциально-разностных уравнений:

$$\dot{x}(t) = \sum_{i=0}^l A_i x(t - \tau_i) + \sum_{j=0}^r B_j u(t - \theta_j), \quad y(t) = Cx(t), \quad (1)$$

где $\tau_0 = 0$, $0 < \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_l$ – постоянные времена запаздываний при матрицах A_i , $i = 0, 1, \dots, l$, $\theta_0 = 0$, $0 < \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_r$ – постоянные времена запаздываний при матрицах B_j , $j = 0, 1, \dots, r$, $u(t) \in R^s$ – вектор входных переменных, $y(t) \in R^m$ – вектор выходных переменных, $x(t) \in R^n$ – фазовый вектор объекта управления. Матрицы A_i имеют размер $n \times n$, $B_j - n \times s$, $C - m \times n$.

Начальные условия зададим с учетом запаздывания сигналов в объекте управления (ОУ) – формально будем рассматривать отрицательные моменты времени $t < 0$, предполагая, что в объекте происходили динамические процессы до начального момента времени:

$$x(t) = \varphi_x(t), \quad t_0 - \tau \leq t \leq t_0,$$

где τ – наибольшее время запаздывания.

Пусть компенсационно-наблюдательная схема управления, вычисляющая текущий фазовый вектор $x(t)$ объекта может быть представлена уравнениями:

$$\begin{aligned} \dot{x}_m(t) &= \sum_{i=0}^l A_i x_m(t - \tau_i) + \sum_{j=0}^r B_j u(t - \theta_j), \quad y_m(t) = LCx_m(t), \\ \hat{x}(t) &= \sum_{i=0}^l A_i \hat{x}(t) + Ly(t) - y_m(t) + \sum_{j=0}^r B_j u(t), \end{aligned} \quad (2)$$

где $\hat{x}(t)$ – фазовый вектор состояния наблюдателя, $x_m(t)$ – фазовый вектор состояния модели объекта, $y_m(t)$ – вектор выхода модели объекта, L – матрица наблюдателя.

Анализ действия компенсационно-наблюдаемой схемы, описываемой уравнениями (2) показал, что она позволяет полностью компенсировать запаздывания по управлению и воспроизводить фазовый вектор состояния $x(t)$ объекта.

Применение преобразования Лапласа к уравнениям (1) дает операторную форму описания объекта:

$$px(p) = \sum_{i=0}^l A_i e^{-\tau_i p} x(p) + \sum_{j=0}^r B_j e^{-\theta_j p} u(p), \quad y(p) = Cx(p). \quad (3)$$

Пусть закон управления в общем случае описывается матричным уравнением:

$$v(p) = K(p)\bar{x}(p) + u(p), \quad (4)$$

где $K(p)$ – МПФ регулятора размера $n \times s$, $v(p) \in R^s$ – вектор управления на входе системы.

Пусть желаемое поведение САУ задается матричной передаточной функцией (МПФ) $E_y^v(p)$ от управляющих воздействий v к выходу y .

Задача: для ОУ (1), компенсационно-наблюдающей схемы (2) и закона управления (4) необходимо найти МПФ регулятора $K(p)$ или условия ее определяющие, при которых поведение САУ будет описываться желаемой МПФ $E_y^v(p)$.

Далее при синтезе системы управления будем использовать технологию вложения систем [1, 2]. С учетом уравнений (1), (2), (4) и выполнения процедур метода вложения систем проблемная матрица (проматрица) рассматриваемой задачи будет иметь вид:

$$\Omega(p) = \begin{bmatrix} (pI_n - \sum_{i=0}^l A_i e^{-\tau_i p}) & 0 & 0 & 0 & 0 & -\sum_{j=0}^r B_j e^{-\theta_j p} & 0 \\ 0 & (pI_n - \sum_{i=0}^l A_i e^{-\tau_i p}) & 0 & 0 & 0 & -\sum_{j=0}^r B_j e^{-\theta_j p} & 0 \\ 0 & 0 & (pI_n - \sum_{i=0}^l A_i) - L I_m & -\sum_{j=0}^r B_j & 0 & 0 & 0 \\ -C & 0 & 0 & I_m & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -LC & 0 & 0 & I_m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K(p) & 0 & 0 & I_s & -I_s \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_s \end{bmatrix}.$$

Матрицы вложения α и β , используемые при вложении систем имеют вид: $\alpha = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ I_s]^T$, $\beta = [0 \ 0 \ 0 \ I_m \ 0 \ 0 \ 0]$ при $\omega = E_y^v(p)$, где ω – образ синтезируемой системы – желаемая передаточная функция системы.

После выполнения процедур технологии вложения – последовательной факторизации матриц $\Omega = \Sigma \Xi$, $\alpha = \Sigma \delta$, $\beta = \pi \Xi$, $\omega = \pi \delta$, можно получить уравнения, которым должна удовлетворять МПФ регулятора $K(p)$ при синтезе по вынужденной составляющей $E_y^v(p)$ замкнутой динамической системы.

Для решения матричных уравнений, которые получаются в результате применения процедур вложения, возможно применение аппарата канонизации матриц [3].

Применение технологии вложения при синтезе по вынужденной составляющей дает следующее уравнение относительно искомой передаточной матрицы $K(p)$:

$$C(pI_n - \sum_{i=0}^l A_i e^{-\tau_i p})^{-1} \sum_{j=0}^r B_j e^{-\theta_j p} - E_y^v(p) = E_y^v(p)K(p)(pI_n - \sum_{i=0}^l A_i)^{-1} \sum_{j=0}^r B_j.$$

Множество регуляторов в этом случае можно описать формулами:

$$\left\{ K(p) \right\}_{\mu, \eta} = (E_y^v(p)) \tilde{[} C(pI_n - \sum_{i=0}^l A_i e^{-\tau_i p})^{-1} \sum_{j=0}^r B_j e^{-\theta_j p} - E_y^v(p) \tilde{]} \times \overline{\overline{\overline{L}}} \\ \times ((pI_n - \sum_{i=0}^l A_i)^{-1} \sum_{j=0}^r B_j \tilde{)} + \overline{\overline{\overline{R}}} E_y^v(p) \mu(p) + \eta(p) (pI_n - \sum_{i=0}^l A_i)^{-1} \sum_{j=0}^r B_j, \quad (5)$$

где $\eta(p)$, $\mu(p)$ – произвольные дробно-полиномиальные матрицы соответствующих размеров. Условия разрешимости уравнения (5), а значит и существования множества решений (6) имеют вид:

$$\overline{\overline{\overline{L}}} E_y^v(p) [C(pI_n - \sum_{i=0}^l A_i e^{-\tau_i p})^{-1} \sum_{j=0}^r B_j e^{-\theta_j p} - E_y^v(p)] = 0, \\ [C(pI_n - \sum_{i=0}^l A_i e^{-\tau_i p})^{-1} \sum_{j=0}^r B_j e^{-\theta_j p} - E_y^v(p)] \overline{\overline{\overline{R}}} ((pI_n - \sum_{i=0}^l A_i)^{-1} \sum_{j=0}^r B_j) = 0. \quad (6)$$

Таким образом, получено соотношение (5) с условиями существования этого решения (6), которое позволяет найти множество регуляторов, удовлетворяющих закону управления (4).

На примере синтеза системы управления двигателя внутреннего сгорания [4] была показана эффективность рассмотренного решения задачи.

Литература

1. Асанов А.З. Технология вложения систем и ее приложения: учебное пособие / А.З. Асанов; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т – Уфа: УГАТУ, 2007 – 227 с.
2. Буков В.Н. Вложение систем. Аналитический подход к анализу и синтезу матричных систем.– Калуга: Издательство научной литературы Н.Ф. Бочкаревой, 2006. – 720 с.
3. Буков В. Н., Рябченко В. Н., Косьянчук В. В., Зябин Е. Ю. Решение линейных матричных уравнений методом канонизации // Вестник Киевского университета. Серия: Физико-математические науки.–Вып.1.–2002.– С.19–28.
4. Lino Guzzella, Christopher H. Onder. Introduction to modeling and control of internal combustion engine systems. Springer Science & Business Media, 2nd ed. – 2010. – 260 p.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПЕРЕДАЧУ СИГНАЛОВ ПО ПРОВОДАМ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Касимов Василь Амирович, Минуллин Ренат Гизатуллович,
Филимонова Тамара Константиновна

Казанский государственный энергетический университет
420066, Казань, ул. Красносельская, д.51

Аннотация. Исследуется влияние толщины стенки, плотности, температуры и структуры гололедных отложений на проводах на затухание и запаздывание отраженных локационных сигналов.

Abstract. The researchers examine influence of ice deposits on parameters of reflected locational signals.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи, гололедные отложения на проводах, локационное зондирование, затухание и запаздывание локационных сигналов

Гололедно-изморозевые отложения на проводах линий электропередачи при достижении критических значений массы отложений представляют угрозу для целостности линий электропередачи (ЛЭП), вызывая дополнительную механическую нагрузку на провода ЛЭП, и могут вызывать их обрывы. Допустимые размеры гололедно-изморозевых отложений определяются конструктивными параметрами линии. При образовании гололедно-изморозевых отложений с критическими размерами необходимо проведение специальных мероприятий для освобождения линий электропередачи от гололедно-изморозевых отложений (ГИО). Для этого применяется плавка гололедно-изморозевых отложений повышенными электрическими токами, которые разогревают провода и проплавливают гололедно-изморозевые отложения. Плавка является дорогостоящей процедурой и обычно сопровождается отключением потребителей и нарушением требований бесперебойности электропитания промышленных потребителей. В связи с этим необходима своевременная информация о динамике нарастания гололедно-изморозевых отложений и их критических размерах с целью проведения упреждающих плавок при возникновении угрозы аварии и для сокращения времени плавки при исчезновении угрозы обрыва проводов ЛЭП.

На проводах ЛЭП могут образовываться как гололедные отложения (с плотностями около 900 кг/м³), так и изморозевые отложения (с меньшими плотностями). Причем, при одинаковой погонной массе гололедно-изморозевые отложения с меньшей плотностью представляют большую угрозу целостности ЛЭП, так как помимо одинаковой гололедной нагрузки они дополнительно вызывают большую ветровую нагрузку на провода ЛЭП из-за большего диаметра (парусности) отложений.

Один из принципов обнаружения и контроля гололедообразования на проводах основан на том, что ГИО вызывают изменения амплитудно- и фазочастотной характеристик (АЧХ и ФЧХ) ЛЭП, т.е. вызывают изменения затухания $\Delta\alpha$ и скорости распространения Δv высокочастотных импульсных сигналов по ЛЭП. Изменение скорости распространения Δv сигналов, в свою очередь, вызывает появление их запаздывания Δt при распространении в ЛЭП.

Изменения затухания $\Delta\alpha$ и запаздывания Δt высокочастотных сигналов по ЛЭП зависят от конструктивных параметров ЛЭП (радиуса проводов r , расположения проводов, расщепления фазных проводов, схемы организации высокочастотного тракта и других), от частоты сигнала f и от параметров ГИО (толщины стенки b , плотности ρ , температуры θ , протяженности l).

Согласно выполненным расчетам и экспериментам ГИО с одинаковой массой, но с разными плотностями вызывают различные изменения АЧХ и ФЧХ высокочастотного тракта ЛЭП. Это вызвано тем, что при изменении плотности ГИО изменяется комплексная диэлектрической проницаемости отложений. Для описания комплексной диэлектрической проницаемости различных типов гололедных отложений они были представлены в виде смеси воздуха и льда (далее – снег) и была использована зависимость Винера для смеси, которая имеет вид:

$$\frac{\varepsilon_{\text{смеси}}-1}{\varepsilon_{\text{смеси}}+u} = p \frac{\varepsilon_1-1}{\varepsilon_1+u} + (1-p) \frac{\varepsilon_2-1}{\varepsilon_2+u}, \quad (1)$$

где u – определяется структурой смеси, p – объемная концентрация вещества 1 в смеси.

С учетом того, что для снега (смеси воздуха и льда) $\varepsilon_2 = 1$, $p = \rho_{\text{снега}} / \rho_{\text{льда}}$, где ρ – плотность вещества, из (1) получаем:

$$\frac{\varepsilon_{\text{снега}}-1}{\varepsilon_{\text{снега}}+u} = \frac{\rho_{\text{снега}}}{\rho_{\text{льда}}} \cdot \frac{\varepsilon_{\text{льда}}-1}{\varepsilon_{\text{льда}}+u}, \quad (2)$$

$$\varepsilon_{\text{снега}} = \frac{(u\rho_{\text{снега}} + \rho_{\text{льда}})\varepsilon_{\text{льда}} + u(\rho_{\text{льда}} - \rho_{\text{снега}})}{(\rho_{\text{льда}} - \rho_{\text{снега}})\varepsilon_{\text{льда}} + (u\rho_{\text{льда}} + \rho_{\text{снега}})}, \quad (3)$$

$$\varepsilon'_{\text{снега}} = \text{Re}(\varepsilon_{\text{снега}}); \quad \varepsilon''_{\text{снега}} = -\text{Im}(\varepsilon_{\text{снега}}). \quad (4)$$

Используя температурные зависимости времени релаксации и разности статической и оптической проницаемостей для льда, уравнения теории Дебая для реальной и мнимой диэлектрических проницаемостей, подставляя их в формулу смеси (1), получим комплексную диэлектрическую проницаемость снега, по которой определяются реальная часть диэлектрической проницаемости и тангенс угла диэлектрических потерь снега (4). Таким образом, получаем многопараметрические зависимости затухания и запаздывания $\Delta\alpha$, $\Delta t = F(b_{\text{экв}}, \rho_{\text{снега}}, l_{\text{снега}}, \theta_{\text{снега}}, u_{\text{снега}}, r_{\text{провода}}, Z_{\text{провода}}, P_{\text{провода}}, K_{\text{провода}}, f_{\text{сигнала}})$.

На рис. 1 приведены графики взаимосвязи погонных затухания и запаздывания в зависимости от параметров эквивалентной стенки b , плотности ρ , температуры θ , структуры снега u , частоты сигнала f . Полученные зависимости наглядно демонстрируют зависимость затухания и запаздывания от этих параметров.

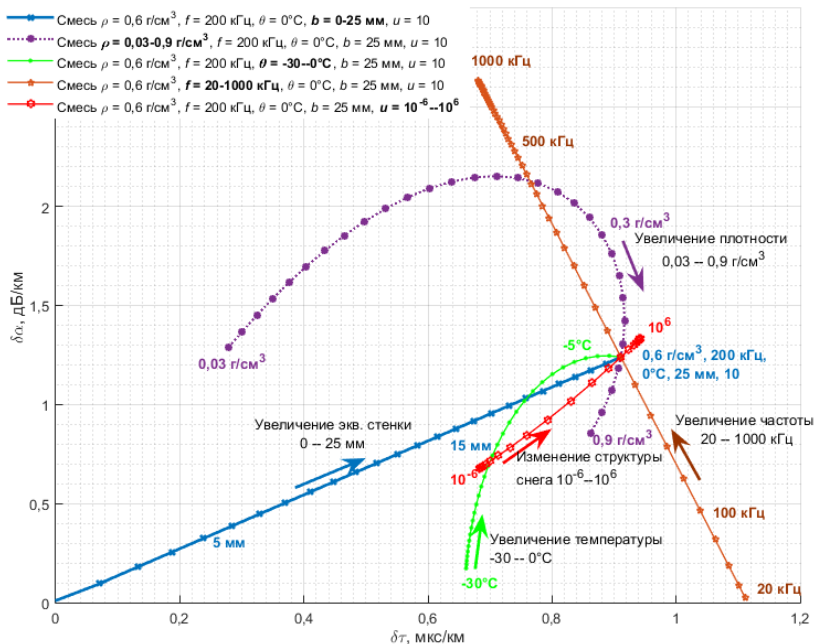


Рис. 1. Взаимосвязь погонных затухания $\delta\alpha$ и запаздывания $\delta\tau$ отраженных локационных сигналов при вариации параметров: эквивалентной стенки b (0–25 мм), ρ (0,03–0,9 г/см³), θ (-30–0 °С), структуры снега u (10^{-6} – 10^6), частоты сигнала f (20–1000 кГц) гололедных отложений на проводах радиуса $r = 8$ мм

Исходящая из начала координат линия (рис. 1) соответствуют графику изменения толщины стенки, все прочие линии являются изолиниями толщины эквивалентной стенки и массы гололедных отложений при вариации одного из параметров.

За основу (рис. 1) были взяты погонные значения затухания $\delta\alpha$ и запаздывания $\delta\tau$ для снега плотностью $\rho = 0,6 \text{ г/см}^3$, частоты сигнала $f = 200 \text{ кГц}$, температуры $\theta = 0^\circ\text{C}$, структуры снега $u = 10$, эквивалентной стенки льда $b_{\text{экв}} = 25 \text{ мм}$. И рассматривались изменения затухания и запаздывания при вариации одного из исходных параметров.

Взаимосвязь затухания и запаздывания при изменении эквивалентной стенки $b_{\text{экв}}$ линейна, т.е. оба параметра сигнала $\delta\tau$ и $\delta\alpha$ либо синхронно растут (при увеличении стенки $b_{\text{экв}}$), либо синхронно уменьшаются (при уменьшении стенки $b_{\text{экв}}$). Однако отдельные зависимости затухания от стенки и запаздывания от стенки не линейны, так с ростом стенки влияние на сигнал уменьшается, например, двукратное увеличение стенки приведет к увеличению и затухания, и запаздывания менее чем в 2 раза.

При изменении частоты сигнала f взаимосвязь δt и δa обратно пропорциональна: с увеличением частоты нелинейно увеличивается затухание и нелинейно уменьшается запаздывание.

С увеличением температуры снега θ от -30 до 0 °С сперва увеличиваются и запаздывание, и затухание, затем при температуре около -3 °С (рис. 1) затухание достигает максимума и начинает уменьшаться, а запаздывание продолжает расти. Графики взаимосвязи δa и δt при изменении стенки для температур θ 0 °С и -9 °С имеют один угол наклона, однако при -9 °С влияние гололедных отложений на высокочастотные сигналы меньше, чем при 0 °С. Т.е. одни и те же значения затухания и запаздывания будут получаться при меньшей стенке для температуры $\theta = -9$ °С, чем для $\theta = 0$ °С. В общем виде можно сказать, что максимальное затухание δa достигается при температуре θ , для которой максимален тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ отложений с плотностью ρ на рабочей частоте f ; а запаздывание δt монотонно растет при увеличении температуры θ .

С уменьшением плотности снега ρ затухание δa и запаздывание δt сперва увеличиваются, затем запаздывание δt достигает максимума при плотности ρ $0,4-0,5$ г/см³ и начинает уменьшаться, после этого достигает максимума затухание δa при плотности ρ $0,1-0,2$ г/см³ и начинает уменьшаться. Минимальное значение затухания δa получается при плотности $0,9$ г/см³, т.е. для чистого льда. А минимальное значение запаздывания достигается при минимальной плотности (порядка $0,03$ г/см³), т.е. для кристаллической изморози. Изменение коэффициента структуры снега u от 0 (слои льда перпендикулярных электрическому полю) до ∞ (слои льда параллельные электрическому полю) приводит к увеличению обоих параметров высокочастотного сигнала δt и δa . Т.е. максимальное влияние на параметры сигнала будет оказывать снег, представляющий собой смесь, состоящую из слоев воздуха и льда параллельных электрическому полю (в нашем случае – цилиндрических слоев вдоль провода). Минимальное влияние будет иметь многослойная смесь, состоящая из слоев воздуха и льда перпендикулярных полю (например, диски, насаженные на провод).

Результаты моделирования влияния параметров гололедно-изморозевых отложений на передачу сигналов по проводам воздушных линий электропередачи необходимы для решения практической задачи по определению толщины эквивалентной стенки и погонной массы гололедно-изморозевых отложений на проводах ЛЭП локационным методом.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по Соглашению № 14.574.21.0141 от 26 сентября 2017 года, уникальный идентификатор проекта RFMEFI57417X0141.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ОТКЛОНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ТОЧНОСТИ ДЕТАЛИ АВТОМОБИЛЯ

Касьянов С.В., Сафаров Д.Т.

НЧИ К(П)ФУ, 423812 г. Набережные Челны пр. Мира 68/19

Упорядочена технологическая структура отклонения показателя точности, возникшего при обработке резанием, разработаны математические модели для прогнозирования результатов обработки а также для поиска причин выявленных дефектов.

The technological structure of the deviation of the accuracy index, which arose during machining, was ordered, mathematical models were developed to predict the results of processing and also to search for the causes of the defects detected.

Ключевые слова: Показатель точности, математическое моделирование, структура операции, станок с ЧПУ.

Ведущие мировые автомобильные корпорации уже давно перешли от обеспечения качества на основе альтернативного контроля к постоянному уменьшению величины отклонений показателей качества путем их регулирования. Этот подход требует учета возможно большего количества факторов.

Нынешние международные стандарты управления качеством требуют организовать систематические измерения наиболее важных (ключевых) показателей качества, строить и анализировать контрольные карты. Но выявление факторов нестабильности и планирование корректирующих действий уже после обработки требует времени и снижает эффективность. При этом нет гарантии, что коррекция приведет к уменьшению отклонения с первой попытки. Следовательно теряется и результативность управления. Предлагаемое решение показано на примере перехода продольного обтачивания (рис. 1).

Чтобы получить наивысшую степень адекватности моделей, процесс формообразования в данной работе представлен как последовательное присоединение друг к другу элементарных площадок, возникших при повороте заготовки на угол $\Delta\phi$ и осевом перемещении резца на величину ΔS . Для учета всех факторов введено понятие «полюс» системы. Заготовительный полюс – это мгновенное положение точки оси вращения заготовки. Инструментальный полюс – мгновенное положение формообразующего элемента инструмента.

Исходя из определения «продукция – результат процесса» (ГОСТ Р ИСО 9000-08), сформулирован следующий базовый принцип: измеренное отклонение координаты положения элементарной площадки обработанной поверхности от заданного идеального значения представляет собой геометрическую сумму технологических составляющих (заготовительных и инструментальных), возникших в процессах подготовки рабочего хода, при

обработке предыдущих элементарных площадок и в момент формообразования данной площадки.

Величина мгновенного радиуса каждой площадки будет определяться отклонениями от идеального заданного положения 2-х полюсов: $\Delta\Pi_{3i}$ и $\Delta\Pi_{1i}$. Она рассчитывается в операционной технологической системе координат.

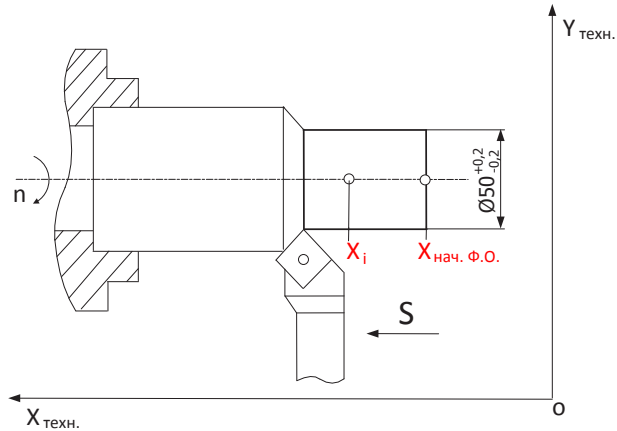


Рис. 1. Технологическая схема перехода наружного продольного обтачивания.

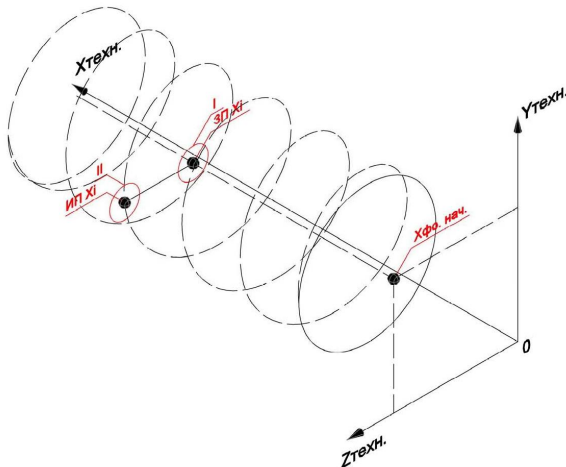


Рис. 2. Идеальные траектории перемещения полюсов в переходе наружного обтачивания цилиндрической поверхности, I-область возможных положений заготовительного полюса, II-область возможных положений инструментального полюса.

В текущий координате X положения полюсов:

$$x_i = X_{НАЧ.Ф.О.} - \sum_1^i \Delta\varphi_i * S \quad (1)$$

где $X_{НАЧ.Ф.О.}$ – начальная точка формообразования [мм.], $\Delta\varphi_i$ – приращение угла поворота [град.], S – величина подачи [мм./об.]

Фактическую величину расстояния элементарной площадки от мгновенной оси – R_i будут определять координаты полюсов:

$$R_i = Y_{И.П.и} - Y_{З.П.и} \quad (2)$$

Координаты полюсов определяются путем геометрического сложения координат точки их идеального положения и технологических составляющих.

В таблице представлен набор технологических составляющих, актуальных для данного перехода, в порядке их возникновения.

Общая схема факторов отклонений полюсов

Таблица 1

| № | Станочные системы формообразования | Процессы жизненного цикла технологической системы | | | | |
|---|------------------------------------|---|--|--|--|-----------------------------|
| | | Характеристики оборудования | Наладка на выполнение задания | Базирование заготовки | Формообразование | Точка расчета |
| 1 | Заготовительная ветвь | Положение оси вращения $\Delta Y_{ОСi}$ | --- | Величина припуска t_i и твердость HB_i | --- | Деформация оси Δf_i |
| 2 | Инструментальная ветвь | Износ направляющей $\Delta Y_{Напр.i}$ | Настройка на размер $\Delta Y_{Нал.i}$ | --- | Накопленный размерный износ Δh_{r_i} | --- |

Таким образом:

Координаты текущего положения по оси Y заготовительного полюса:

$$Y_{З.П.и} = Y_{З.П.ид.и} + \Delta Y_{ОСi} + f_i \quad (3)$$

где $\Delta Y_{ОСi} = \alpha * x_i$

Характеристика непараллельности оси α направляющим станка определяется путем диагностирования.

Величина деформации оси в точке i рассчитывается по известным эмпирическим зависимостям [2]. Координаты положения инструментального полюса определяются:

$$Y_{И.П.и} = Y_{И.П.ид.о} + \Delta Y_{Напр.i} + \Delta Y_{НАЛ} + \sum_1^{i-1} \Delta h_{r_i} \quad (4)$$

$\Delta Y_{Напр.}$ – величина износа направляющей в точке

$\Delta Y_{НАД}$ – отклонение координаты наладочного размера от идеального значения

Накопленная величина износа $\sum_1^{i-1} \Delta h_{r,i}$ рассчитывается по известным эмпирическим зависимостям [1].

Накопленные мгновенные значения R_i складываются в уравнение обработанной поверхности сначала в станочной системе координат (2), а затем оно преобразуется для моделирования изготовленной детали в измерительной и конструкторской системах координат.

Модель универсальна и позволяет с высокой результативностью решать два типа задач:

- Прямые (проектные), когда необходимо тщательно спрогнозировать окончательный результат обработки.
- Обратные (аналитические), когда необходимо оценить вклад отдельного фактора в величину обнаруженного отклонения [1, 2].
- Эффективно оценивать результативность методов получения управления качеством [4].

Литература

1. ГОСТ Р ИСО 51814.3-2001 Методы статистического управления процессами
2. Касьянов С.В., Сафаров Д.Т. Диагностирование технического состояния оборудования и оснастки по показателям технологической точности / Автомобильная промышленность, №5, 2004 г. с. 24-28
3. Касьянов С.В., Сафаров Д.Т. Формирование отклонений показателей качества при создании продукции / Методы менеджмента качества № 2 2007 г. с. 30-36
4. Касьянов С.В., Сафаров Д.Т. Результативность и эффективность методов получения информации о качестве продукции / Методы менеджмента качества № 10 2007 г. с. 40-47

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН С УЧЕТОМ ОБРАЗОВАНИЯ ПОПУТНЫХ ПРОДУКТОВ, ОТХОДОВ И ВЫБРОСОВ

Касьянов С.В., Сафарова Л.Р.

НЧИ К(П)ФУ, 423812 г. Набережные Челны пр. Мира 68/19

Реализован алгоритм проектирования технологии изготовления автокомпонентов с разработкой процессов порождения на рабочих местах всех видов попутных продуктов, направленный на предупреждение потенциальных потерь в серийном производстве.

The algorithm for designing the technology of manufacturing auto components with the development of processes for generating all kinds of associated products at workplaces has been implemented, aimed at preventing potential losses in batch production.

Ключевые слова: проектирование, автокомпоненты, попутные продукты, отходы, выбросы.

Прибыльность предприятия является следствием всех процессов его деятельности. Сегодня обязательным условием для российских предприятий стала сертификация систем менеджмента. Но главное – реально добиться мирового уровня качества продукции, максимально оперативно и безошибочно вести подготовку экономичного производства новых изделий, по возможности предупреждая потенциальные потери. Наконец, все важнее неукоснительно выполнять экологические требования, то есть управлять жизненным циклом выбросов, сбросов, отходов, поскольку они напрямую влияют на качество жизни общества.

В машиностроении основой любой производственной технологии являются те или иные природные взаимодействия – химические реакции, механические воздействия, горение, расплавление веществ и т.д. Специалисты создают технологические системы, для получения с их помощью товарного продукта требуемого качества. Но в любом случае какая-то совокупность взаимодействий остается неуправляемой и порождает попутные продукты (излучения, выбросы в почву, воду, атмосферу). Многие виды оборудования состоят по крайней мере из нескольких функциональных систем, в каждой из которых взаимодействуют между собой детали различных устройств и также создают собственные попутные продукты. Одни из этих продуктов выделяются по мере их порождения (отходы материала), а некоторые (отработанное смазочное масло – накапливаются в течение периода выхода).

В автомобилестроении согласно [1] проект подготовки производства и выпуска нового изделия разделен на 5 этапов. Чтобы решать заявленные выше задачи, нужно добавить к исходным данным для обеспечения качества товарного продукта комплекс требований и к попутным продуктам. На I-ом этапе специалисты должны составить полный реестр законодательных ограничений, например ПДК по классам порождаемых опасных веществ. В ходе разработки нового продукта (на II-ом этапе) необходимо окончательно установить требования к характеристикам значимых попутных продуктов. В дополнение к ним команда специалистов должна получить полный комплекс требований к товарному продукту (качество, производительность, стоимость) к безопасности труда, к расходу ресурсов.

Современная задача технологического проектирования формулируется таким образом: формировать максимально адекватную модель производственного процесса, чтобы получать информацию для решения любой задачи по его улучшению.

Разрабатывая на III этапе проекта производственную операцию, технолог в неявном виде выстраивает ее структуру. Для новой задачи важно

формализовать структуру. Иначе не удастся увязать воедино взаимодействия во множестве сопряжений станочной системы. Чтобы выделить все их без исключения, разработана методика моделирования операций.

Содержание техдокументации прежде охватывало только характеристики товарного продукта. Но сегодня (рис. 1) межфункциональная команда не должна ограничиваться проектированием переходов создания элементов товарного продукта. Должно быть проработано и структурировано содержание операционной технологической системы. Необходимо увязать переходы порождения всех видов попутных продуктов с переходами создания товарного продукта, а также указать их характеристики с расчетом объемов порожденных попутных продуктов и отходов на рабочих местах. Таким образом, закладываются условия для планирования их жизненного цикла – сбора, транспортирования, сдачи и утилизации.

Для планирования производства предусмотрено построение временных цепей [2]. Управление попутными продуктами предлагается вести на основе прослеживания предельно допустимых концентраций ключевых веществ по всем операциям производства. Для этого в дополнение к документообороту – придется составить ведомость ключевых концентраций веществ [4], а также карты потоков жизненных циклов отходов, выбросов и сбросов всех видов с расчетными значениями и с определением концентрации вредных веществ. В ряде случаев будет необходимо также расширить и содержание рабочих инструкций операторов и наладчиков. План управления концентрациями ключевых веществ должен будет содержать мероприятия по их уменьшению. Его реализация планируется путем мониторинга.

В ходе подготовки производства технологи должны заложить по возможности полный комплекс информации и для учета затрат. Поэтому еще одно обязательное дополнение – расчет потребностей в ресурсах по установленным нормативам и окончательный расчет плановой стоимости всех процессов.

Базовым документом для предложенной методики целесообразно оставить стандартизованный комплект технологической документации, дополненный необходимыми приложениями по всем вспомогательным процессам, а также контрольными листами для регистрации данных мониторинга попутных продуктов, отходов, выбросов и сбросов.

Главное требование к работе современного технолога – возможно более глубокое адекватное моделирование структуры и содержания производственного процесса для каждого отдельного продукта. При наличии достаточного объема подготовленных данных можно будет оперативно решать весь комплекс задач по поддержанию конкурентоспособности.

Кроме того через углубление знаний о содержании единичной операции становиться возможным реально интегрировать стандарты 16949 с экологическими стандартами серии 14000, и стандартами безопасности персонала серии 22000.

Литература.

1. ГОСТ Р 51814.6-2005. Системы менеджмента качества в автомобилестроении. Менеджмент качества при планировании, разработке и подготовке производства автомобильных компонентов.
2. Сафарова Л.Р., Глинина Г.Ф. Затраты времени как основа расчета объемов попутных продуктов, отходов и выбросов в операциях формообразования / Вестник СГТУ 2013 №2 (71) с. 95-97
3. Касьянов С.В., Сафаров Д.Т., Сафарова Л.Р. Планирование процессов порождения и переработки отходов при подготовке производства автокомпонентов. В сб. современные технологии и развитие политехнического образования - международная научная конференция г. Владивосток 19-23 сентября 2016 г. / ДФУ, 2016. с. 867-870
4. Касьянов С.В., Сафаров Д.Т., Сафарова Л.Р. Концепция проектирования технологий жизненного цикла попутных продуктов и отходов в процессе подготовки производства нового автокомпонента. / (МНТК «ИМТОМ–2016»). Ч.1 – Казань, 2016. с. 309-312
5. Кондрашов А.Г., Сафарова Л.Р., Глинина Г.Ф. Планирование энергетических затрат в производственных заданиях обработки деталей на станках с ЧПУ / СТИН 2017г №4 с. 27-36

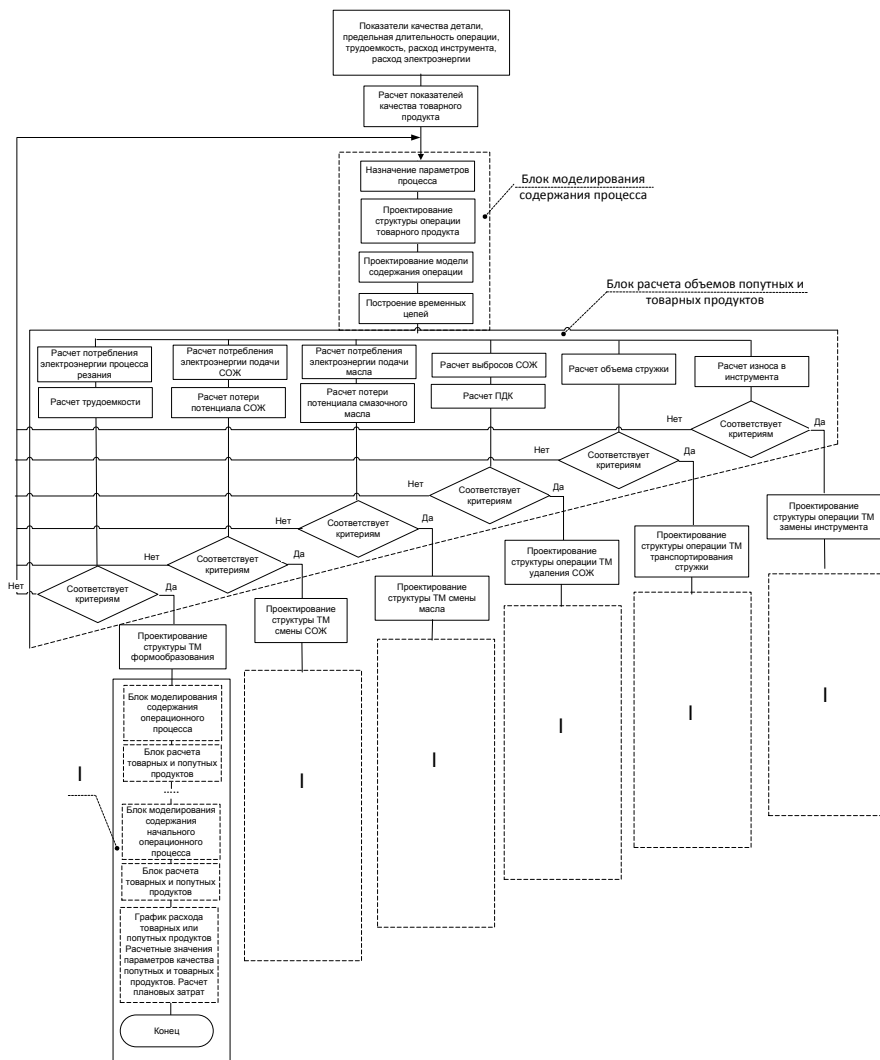


Рис.1 Принципиальный алгоритм планирования результатов технологических процессов с учетом образования попутных отходов, выбросов и загрязнений на станочном рабочем месте, где I- типовой блок расчетов для каждого вида продукта.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ

Ковалёв Илья Сергеевич

Казанский (Приволжский) федеральный университет, ПАО «КАМАЗ»
kovalevis@kamaz.ru

Аннотация. В данной работе представлена математическая и компьютерная модель системы охлаждения двигателя грузового автомобиля. Компьютерная модель была реализована в среде имитационного моделирования LMS Imagine.Lab Amesim. Было проведено сравнение результатов моделирования с результатами, полученными при испытании системы охлаждения в составе автомобиля.

Abstract. This work represents the mathematical and computer model for simulation of the cooling system of a truck with a CI engine. The simulation platform LMS Imagine.Lab Amesim was used to develop the computer model. Simulation results were compared with data obtained during bench testing of the cooling system in the vehicle.

Ключевые слова: система охлаждения, дизельный двигатель, компьютерная модель, математическая модель.

Введение. Система охлаждения является жизненно важной частью любого автомобиля, так как обеспечивает температурный режим, необходимый для нормального функционирования двигателя. При работе системы охлаждения затрачивается часть энергии, вырабатываемой двигателем, поэтому при её проектировании необходимо обеспечить необходимую интенсивность охлаждения при минимальной затрате энергии. Для эффективного решения этой проблемы применяется компьютерное моделирование, позволяющее оценить эффективность работы системы до проведения натуральных испытаний.

Целью данной работы является создание модели, которая позволяет оценить эффективность функционирования системы охлаждения.

Описание системы. Моделируемая система охлаждения является жидкостной и используется для охлаждения двигателя, наддувочного воздуха, ретардера и масла системы смазки двигателя. Структурная схема представлена на рисунке 1. В жидкостный контур системы охлаждения также входят система отопления кабины и система предпускового подогрева. Интеркулер и радиатор расположены последовательно друг за другом, вся их поверхность обдувается воздухом, всасываемым вентилятором.

Вентилятор и водяной насос соединены механической передачей с коленчатым валом двигателя, поэтому скорость их крыльчаток зависит от оборотов вала двигателя. В механической передаче между вентилятором и двигателем присутствует вязкостная муфта с электронным управлением. Управление вентилятором происходит по показанию датчиков температуры охлаждающей жидкости на выходе из радиатора и наддувочного воздуха на выходе из интеркулера. Вентилятор может быть во включенном состоянии,

когда угловая скорость вентилятора равна скорости ведущего вала муфты, и в выключенном, при котором вентилятору передаётся малая часть (около 5%) крутящего момента.

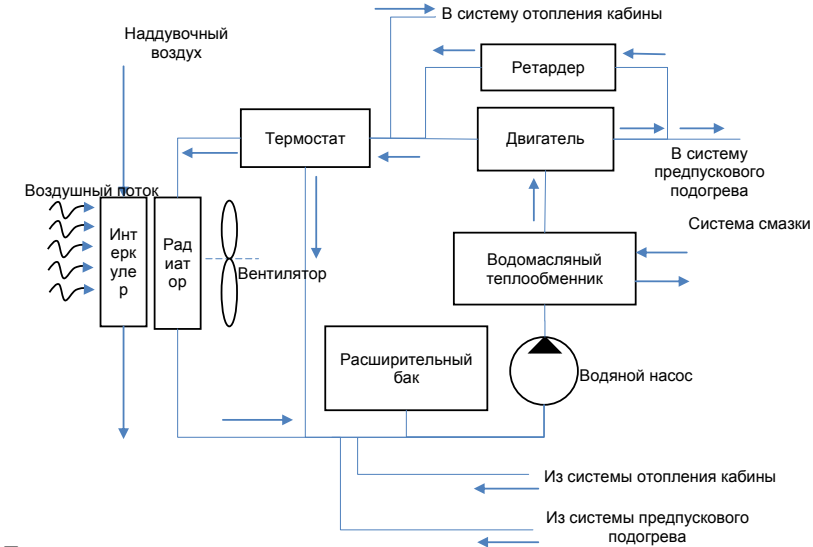


Рисунок 1 – Структурная схема системы охлаждения

Математическая модель. Для описания состояния жидкости и газа в компонентах системы были использованы дифференциальные уравнения, выведенные на основе законов сохранения энергии и массы [1]:

$$\begin{cases} \frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dt} - \alpha \frac{dT}{dt} + \frac{1}{\beta} \cdot \frac{dP}{dt} = \frac{1}{m} \cdot \frac{dm}{dt}, \\ mc_p \frac{dT}{dt} - \alpha VT \frac{dP}{dt} = \frac{dQ}{dt} + \frac{dH}{dt} - h \frac{dm}{dt}, \end{cases}$$

где T – температура, P – давление, α – коэффициент линейного теплового расширения, β – объёмный модуль упругости, c_p – удельная теплоёмкость, H – энтальпия, h – удельная энтальпия, m – масса вещества, Q – количество теплоты.

Массовый расход вещества dm между двумя участками является функцией от разницы давлений между участками ΔP . Для некоторых компонентов несколько значений этой функции были известны из эксперимента, поэтому для них функция задана табличным способом. Для остальных компонентов была применена следующая формула [2]:

$$dm = k\sqrt{2\rho|\Delta P|},$$

где ρ – плотность, k – коэффициент сопротивления, выбранный исходя из известной информации о расходе жидкости через контуры системы охлаждения.

Для вычисления конвективного теплообмена в теплообменниках и в двигателе использована формула:

$$dQ = A\bar{h}\Delta T,$$

где A – площадь теплообмена, \bar{h} – среднее значение коэффициента теплоотдачи.

Для теплообменников с двумя текучими средами среднее значение коэффициента теплоотдачи вычисляется с помощью NTU -метода [3] с коэффициентами, полученными из эксперимента. Теплообмен между твёрдым телом и жидкость определяется числом Нуссельта, вычисленным по эмпирическим формулам [4]:

$$\bar{h} = \frac{\lambda \cdot Nu}{l},$$

$$Nu_n = 1,86 \left(\frac{Re \cdot Pr}{l/d} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu}{\nu} \right)^{0,14} \quad \text{при } Re < 2300,$$

$$Nu_m = 0,027 Re^{4/5} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\nu} \right)^{0,14} \quad \text{при } Re > 10000,$$

где Nu – число Нуссельта, Re – число Рейнольдса, Pr – число Прандтля, l – характерная длина, λ – коэффициент теплопроводности, d – гидравлический диаметр, μ – динамическая вязкость, ν – кинематическая вязкость.

Компьютерная модель. Для реализации модели была использована среда имитационного моделирования LMS Imagine.Lab Amesim, так как в ней заложены модели как элементарных физических процессов, так и некоторых технических устройств, что значительно ускоряет процесс разработки. Внешний вид модели представлен на рисунке 2.

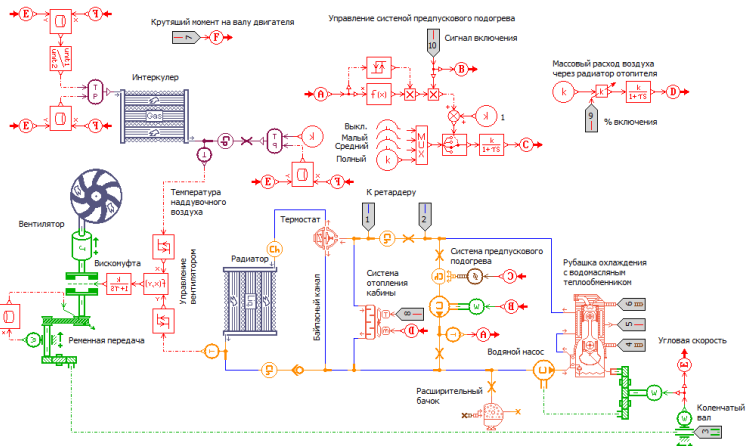


Рисунок 2 – Компьютерная модель в среде Amesim

Нумерованные пятиугольники являются интерфейсами модели для подключения к ней тестовой обвязки или моделей других частей автомобиля (например, модели двигателя). Для верификации модели была использована тестовая обвязка, имитирующая поведение двигателя при испытании автомобиля на стенде с беговыми барабанами.

На рисунке 3 представлено сравнение зависимостей температуры масла в главной масляной магистрали двигателя от времени, полученных в результате эксперимента и симуляции модели. Значительное отклонение в результатах наблюдается только в первые 50 секунд и максимальное значение отклонения составляет $6,1^{\circ}\text{C}$. Далее графики экспериментальной и теоретической зависимости практически совпадают, при этом максимальное отклонение не превышает 3°C .

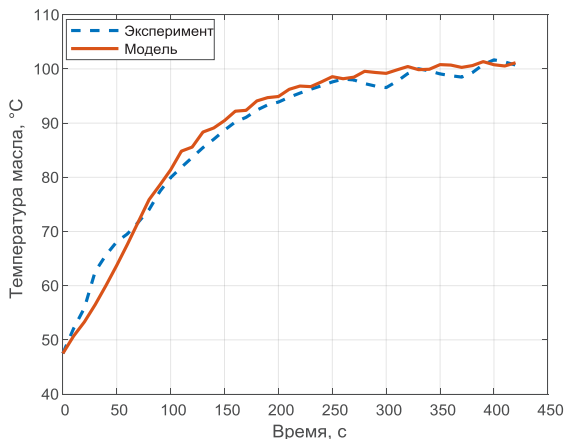


Рисунок 3 – Зависимость температуры масла в главной масляной магистрали двигателя от времени при режиме максимальной мощности

Заключение. В рамках данной работы была создана математическая модель системы грузового автомобиля, её компьютерная реализация в среде LMS Imagine.Lab AMESim. Было проведено сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными, которое показало, что модель адекватна.

Список литературы

1. Cengel Y. A., Heat and Mass Transfer : A Practical Approach. – 2nded. – New York : McGraw-Hill, 2002. – 896 p.
2. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – Под ред. М. О. Штейнберга. 3-е изд., перераб. и доп.– М.: Машиностроение, 1992.– 672 с., ил.
3. F.P. Incropera and D.P. DeWitt, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", 5th edition, 2002, John Wiley & Sons, Inc.
4. J.P. Holman, Heat Transfer, 6th ed., McGraw-Hill, 1986.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОГРАММЫ ВЫПУСКА ПРОДУКЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ЦЕХА ПРОГРАММНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

Милостной Михаил Юрьевич, руководитель проекта отдела развития
производственной системы ПАО ААК «ПРОГРЕСС»,
г. Арсеньев, Россия, e-mail:ld_ascold@mail.ru

Герман Олег Анатольевич, директор по производству ПАО ААК «ПРОГРЕСС»,
Россия, e-mail:o.german@aacprogress.ru

Бердиев Олег Шамильевич, советник управляющего директора ПАО ААК
«ПРОГРЕСС», г. Арсеньев, Россия, e-mail:berdiev553@mail.ru

Научный руководитель: Денисенко Юрий Петрович, управляющий директор
ПАО ААК «ПРОГРЕСС», г. Арсеньев, Россия

Особенностью многих машиностроительных предприятий в современном мире является мелкосерийный характер производства. Поэтому поиск эффективных методов управления, организации машиностроительного производства, методов построения автоматизированных систем управления производством – актуальная задача. Создание на научной основе системы управления производством, интеграция в единую систему сбора и обработки данных и оперативного управления повышает качество и эффективность всех звеньев машиностроительного производства.

Применение имитационного моделирования при создании автоматизированных систем управления позволяет рассматривать большое количество возможных вариантов будущего производства. Модели могут отвечать различным требованиям, в зависимости от поставленных задач на ПАО ААК «Прогресс».

A feature of many machine-building companies in the modern world is the small-scale production. Therefore, the search for effective management methods, organization of machine-building production, methods of constructing automated production management systems is an actual task. Creation on a scientific basis of a production management system, integration into a one system of data collection and processing and operational management increases the quality and efficiency of all parts of machine-building production.

The use of simulation in the creation of automated control systems allows us to consider a large number of possible options for future production. Models can meet different requirements, depending on the tasks assigned to PJSC AAK "PROGRESS".

Ключевые слова: план производства, имитационное моделирование, модель управления, загрузки технологических мощностей.

Решение задач развития машиностроительных предприятий существенно затрудняется без совершенствования системы управления и организации планирования производства, особенно на основе применения вычислительной техники и компьютерных технологий. Особое значение имеет создание цифрового двойника производства с помощью инструментов имитационного моделирования.

Для достижения поставленной цели в работе поставлены следующие задачи:

1. Разработка динамических моделей цехов основного производства в программе Tecnomatix Plant Simulation.

2. Разработка динамических моделей производств: заготовительно-штамповочного, литейного, механосборочного и сборочного в программе Tecnomatix Plant Simulation.

3. Интеграция разработанных моделей и алгоритмов в единую цифровую модель синхронного управления ресурсами предприятия.

4. Разработка схем и алгоритмов формирования планов выполнения производственных заказов с учетом реального состояния загрузки технологических мощностей предприятия.

В рамках проекта «Повышение эффективности цеха программной обработки деталей ПАО ААК «ПРОГРЕСС» была разработана имитационная модель цеха в программе Tecnomatix Plant Simulation. Учтена специфика работы цеха. Особенности моделирования системы мелкосерийного производства:

- Большая номенклатура продукции;
- Производство небольших партий разных деталей на одних и тех же ресурсах;

- «Хаотичный» материалопоток.

Основные факторы для моделирования:

- Размеры партий, ритмичность работы;
- Минимизация незавершенного производства;
- Конкуренция за ресурсы;
- Соблюдение сроков и минимизация цикла производства.

Пример модели приведен на рис. 1

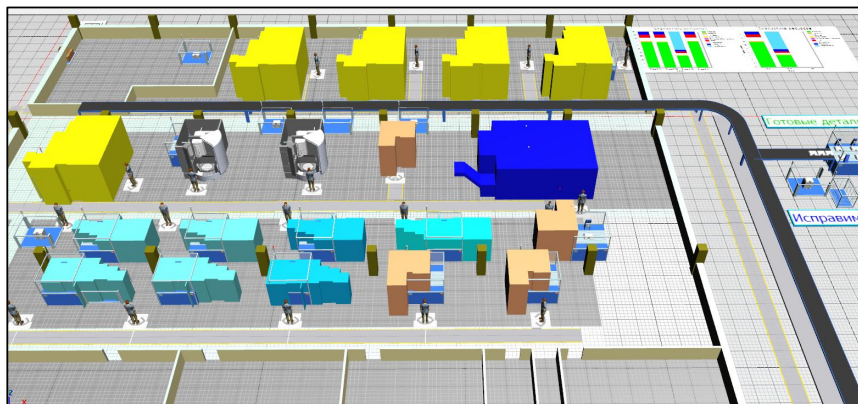


Рисунок 1 – Модель цеха программной обработки

Применение программного обеспечения для имитационного моделирования позволит обеспечить информационную поддержку работы технологической и планово-диспетчерской служб, позволит упорядочить и систематизировать работу и взаимодействие всех подразделений цеха и предприятия, а также позволит сформировать эффективную систему планирования производства на предприятии.

Разрабатываемая модель позволит оперативно решать следующие задачи:

- обеспечить поддержку принятия решений и минимизировать риски при планировании и реализации инвестиционных проектов;
- выявить резервы для повышения эффективности работы и снижения непроизводительных затрат;
- в случае модернизации производства или изменения его структуры, быстро провести анализ и оценку различных вариантов, выбрав из них наиболее рациональный;
- заранее, не вмешиваясь в работающую систему, оценить эффект от проводимых мероприятий;
- повысить гибкость системы: проанализировать и скорректировать работу системы при изменении рыночной конъюнктуры, объемов производства, выпускаемой продукции или услуг;
- автоматизировать процесс управления деятельностью производственными мощностями.

Разработанная имитационная модель может выступать в роли ядра системы поддержки оперативной деятельности и планирования работ в краткосрочной перспективе. Важную роль в этой задаче имеет получение актуальной информации для планирования, как правило, это подразумевает интеграцию с системами уровня MES (получение данных о состоянии оборудования) и другими информационными системами (Teamcenter).

Модель поможет осуществлять контроль над производственными процессами с учетом расстояния, грузоперевозки и себестоимости перевозок за

счет анализа производственной логистики и ее оптимизации. Позволяет быстро разрабатывать и анализировать различные сценарии процесса производства, тем самым устраняет «узкие места», повышает эффективность и увеличивает производительность. Инженерным подразделениям дает возможность наблюдать выход технологических процессов в рамках виртуального производства, предприятия могут избежать неэффективного использования производственных мощностей, устранив выявленные проблемы в реальном производстве.

Список литературы:

1. Медведев В.И. Имитационное моделирование систем и процессов в системе Tecnomatix Plant Simulation / Имитационное моделирование. Теория и практика: Сборник докладов четвертой всероссийской научно-практической конференции ИММОД-2009. Том 1. СПб: ОАО «ЦТСС». 2009, с. 289-292.
2. Л.Ф. Выюненко, М.В. Михайлов, Т.Н. Первозванская, Имитационное моделирование. Учебник и практикум изд. Юрайт, 2016, 284 с.
3. Siemens PLM Software - Plant Simulation. –Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.pim.automation.siemens.com/>
4. Колесникова, О.В. Особенности планирования мелкосерийного производства / О.В. Колесникова, В.Е. Лелюхин// «Проблемы и перспективы технических наук» / Сб. ст. по материалам Международной научно-практической конференции. Уфа. Изд. «Аэтерна», 2015, с. 21-24.
5. Чижов М.И., Ю.С. Скрипченко, П.Ю. Гусев. Моделирование технологических процессов в Tecnomatix Plant Simulation/ Вестник Воронежского государственного технического университета, 2011, том 7, с. 18-20.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРУШЕНИЯ СТОЛБА ЖИДКОСТИ В КАНАЛАХ РАЗНОЙ ФОРМЫ

Моренко Ирина Вениаминовна

ИММ КазНЦ РАН, 420111, г. Казань, ул. Лобачевского, 2/31

Выполнено математическое моделирование обрушения столба жидкости в каналах разной формы. Математическое моделирование движения двухфазной среды основано на методе объема жидкости. Рассчитано положение фронта жидкости в зависимости от времени.

Numerical simulation of collapse of a column of liquid in canals of different shapes is carried out. Mathematical modeling of the motion of a two-phase medium is based on the volume of fluid method. The position of the liquid front depending on time is calculated.

Ключевые слова: математическое моделирование, обрушение столба жидкости, метод объема жидкости.

Исследование движения жидкости со свободной поверхностью несомненно актуально и имеет как теоретическую и практическую значимость при решении таких экологических задач, как обрушение дамбы, прорыва плотины, сход селей, разлива загрязнений; в химической технологии при нанесении функциональных покрытий; в машиностроении при литье металлов, для определения величины нагрузок на стенки при конструировании топливных баков автотранспортных средств; при проектировании дамб, мостов, водохранилищ.

Особенностью таких течений является наличие свободной поверхности, форму которой необходимо определять, при этом движение вязкой жидкости, как правило, является нестационарным, трехмерным, характеризуется сильной деформацией свободной поверхности вплоть до таких явлений, как опрокидывание волн, образование пузырей, брызг.

В данной работе рассматривается процесс обрушения столба жидкости в каналах разной формы. Одним из первых лабораторный эксперимент обрушения столба жидкости в прямоугольном канале был выполнен J.C. Martin и W.J. Моусе в 1952 г [1]. Их результаты используются для верификации математических моделей и алгоритмов при расчете течений со свободной поверхностью.

В данной работе проведено исследование течений слабосжимаемой вязкой жидкости со свободной поверхностью в каналах разной формы с гладкими стенками. Рассматривается задача обрушения столба жидкости в форме гексаэдра в кубическом канале и цилиндрического столба жидкости в цилиндрическом канале. На рис. 1 слева показан заполненный воздухом кубический канал со стороной $H=0.584$ м, в котором находится столб жидкости в форме гексаэдра высотой $b=0.292$ м, шириной $a=0.146$ м, длиной $H=0.584$ м в гидростатическом равновесии. Столб жидкости ограничен вертикальной перегородкой. В начальный момент времени перегородка удаляется, а столб жидкости под действием силы тяжести начинает обрушаться. Кроме того, рассматривается цилиндрический канал (рис. 1 справа) высотой $H=0.584$ м, радиусом $r_2=0.584$ м, в центре которого помещается цилиндрический столб жидкости высотой $b=0.292$ м и радиусом $r_1=a=0.146$ м.

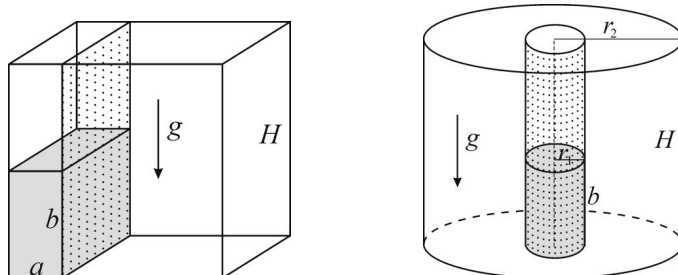


Рис. 1. Кубический канал (слева), цилиндрический канал (справа)

Для расчета нестационарного неизотермического движения жидкости со свободной поверхностью выбран метод объема жидкости (VOF) [2], согласно которому течение среды моделируется единым набором уравнений движения, энергии для всех фаз. Метод VOF реализован на открытой интегрируемой платформе OpenFOAM, которая является мощным современным эффективным инструментом для численного моделирования задач механики сплошных сред. Предполагается, что движение жидкости является турбулентным.

Рассматривается двухфазная среда, которая состоит из жидкой и газовой фаз. Обозначим через α объемную долю жидкой фазы. Если контрольный объем занят жидкостью, то $\alpha = 1$, если газом – $\alpha = 0$, если через контрольный объем проходит фазовая граница, то $0 < \alpha < 1$.

Плотность ρ , динамический коэффициент вязкости μ , удельная теплоёмкость при постоянном давлении c_p , коэффициент теплопроводности λ среды рассчитываются по соответствующим значениям жидкости (индекс l) и газа (индекс g) с использованием маркерной функции α :

$$\rho = \rho_l \alpha + \rho_g (1 - \alpha), \quad \mu = \mu_l \alpha + \mu_g (1 - \alpha),$$

$$c_p = (c_p)_l \alpha + (c_p)_g (1 - \alpha), \quad \lambda = \frac{\lambda_l \lambda_g}{\lambda_l \alpha + \lambda_g (1 - \alpha)}.$$

Запишем уравнения состояния газа и жидкости

$$\rho_g = p / R_g T, \quad \rho_l = \rho_{l0} + p_l / R_l T,$$

здесь R_g – универсальная газовая постоянная, $R_l = const$, $\rho_{l0} = const$.

Для описания нестационарного турбулентного движения сжимаемой жидкости записываются трехмерные осредненные уравнения Рейнольдса

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \bar{u}) = 0,$$

$$\frac{\partial \rho \bar{u}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \bar{u} \bar{u}) = \rho \bar{g} - \nabla p + \nabla \tau + \sigma \kappa \nabla \alpha,$$

здесь \bar{u} – вектор скорости, t – время, p – давление, τ – тензор напряжений, g – ускорение свободного падения, $\kappa = -\nabla \cdot n$ – кривизна свободной поверхности, $n = \nabla \alpha / |\nabla \alpha|$ – единичная нормаль к поверхности раздела фаз, σ – коэффициент поверхностного натяжения.

Положение свободной поверхности определяется из уравнения

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha \bar{u}) + \nabla \cdot [(1 - \alpha) \alpha \bar{u}_r] = 0,$$

в котором $\bar{u}_r = \bar{u}_l - \bar{u}_g$ – дополнительный искусственный член сжатия.

Уравнение сохранения энергии

$$\frac{\partial (\rho E)}{\partial t} + \nabla \cdot [(\rho E + p) \bar{u}] = \nabla \cdot (\tau \bar{u}) + \nabla \cdot (\lambda_{eff} \nabla T).$$

здесь E – энергия, T – температура, $\lambda_{eff} = \lambda + \frac{c_p \mu_T}{Pr_T}$, μ_T – турбулентная вязкость, $Pr_T = 0.85$ – турбулентное число Прандтля.

Моделирование турбулентности осуществляется с помощью модели Ментера SST [3], которая включает уравнения для транспорта кинетической энергии турбулентности k и скорости диссипации турбулентной энергии ω .

Решение задачи осуществляется методом конечных объемов с помощью программного комплекса OpenFOAM.

При расчете задаются следующие параметры двухфазной среды: $\rho_{l0} = 10^3 \text{ кг/м}^3$; $\nu_g = 1.46 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$, $\nu_l = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $c_{pg} = 1006 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, $c_{pl} = 4182 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; $\lambda_g = 0.024 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, $\lambda_l = 0.6 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. Кроме того, $R_g = 8.314 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$, $R_l = 3000 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$, $\sigma = 0.07 \text{ Н/м}$.

На рис. 2 показан процесс обрушения столба жидкости, который в начальный момент времени имеет форму гексаэдра, а рис. 3 – цилиндрического столба. Заметим, что в начальный момент времени ($\tau = 0.0$) площади сечения объемов, занятых жидкостью в обоих случаях одинаковы. После удаления перегородки столб жидкости под действием силы тяжести начинает обрушаться, вода устремляется в незанятую жидкостью часть канала, формируется волна. При движении жидкости силы инерции преобладают над силами поверхностного натяжения. Отметим, что в момент времени $t^* = 3.48$ на правой части межфазной границы «вода-воздух» наблюдаются волны.



Рис. 2. Обрушение столба жидкости в форме гексаэдра

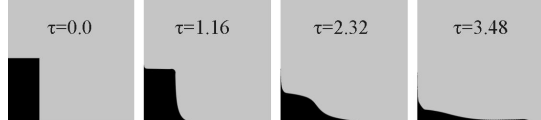


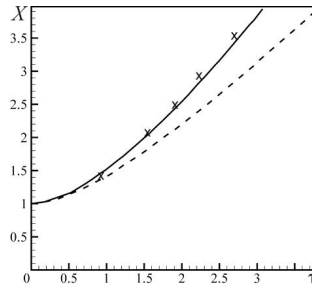
Рис. 3. Обрушение цилиндрического столба жидкости

С течением времени под действием силы вязкости жидкость оказывается в состоянии гидростатического равновесия.

При проведении расчетов определяется зависимость безразмерного положения фронта волны $X = x/a$ от безразмерного времени $\tau = t/\sqrt{a/2g}$ (рис. 4). Наблюдается удовлетворительное согласие расчетных значений положения фронта волны и экспериментальных данных для прямоугольного канала [1]. В ходе численного эксперимента установлено, что скорость движения фронта жидкости зависит от формы столба в начальный момент

времени, в частности, фронт воды при обрушении столба в форме гексаэдра движется быстрее, чем при обрушении столба в форме цилиндра.

Рис. 4. Продвижение фронта жидкости при обрушении столба в форме гексаэдра (сплошная линия) и цилиндра (пунктирная линия), x – эксперимент [3]



На основе результатов численных расчетов установлены особенности динамики обрушения столба жидкости в каналах разной формы. Определены зависимости положения фронта волны от времени.

Литература

1. Martin J.C., Moyce W.J. An experimental study of the collapse of liquid columns on a rigid horizontal plane // Phil. Trans. Roy. Soc. London 1952. Vol. 244. No. 882. Pp. 312-324.
2. Hirt C.W., Nichols B.D. Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries // Journal of Computational Physics. 1981. Vol. 39. N. 1. P. 201-225.
3. Menter F.R. Two-equation eddy viscosity turbulence models for engineering applications // AIAA J. 1994. V. 32. № 8. P. 1598-1605.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА АБСОРБЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО ФОРМАЛИНА С ИНТЕГРАЦИЕЙ НЕСТАНДАРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Москалев Л.Н., Поникаров С.И.

ФГБОУ ВО «КНИТУ», кафедра «Машины и аппараты химических производств», 420015, Российская Федерация, Республика Татарстан, г. Казань, К. Маркса, 68

Аннотация. В статье говорится о синтезировании технологической схемы процесса абсорбции производства технического формалина в универсальном моделирующем пакете ChemCAD. Построенные модели в универсальном моделирующем пакете позволяют подбирать характеристики технологического оборудования, выявлять режимные параметры действующей и модифицированной (с использованием нестандартного оборудования)

технологических схем на химических предприятиях, что значительно снизит финансовые затраты самих предприятий.

Abstract. The article deals with the synthesis of the technological scheme of the process of absorption of the production of technical formalin in the universal modeling package ChemCAD. The models built in the universal modeling package allow us to select the characteristics of the technological equipment, to reveal the regime parameters of the operating and modified (using non-standard equipment) technological schemes at chemical enterprises, which will significantly reduce the financial costs of the enterprises themselves.

Ключевые слова: Контактный конденсатор вихревого типа, формалин, универсальный моделирующий пакет, нестандартное оборудование.

Процессы и аппараты химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств считаются одними из самых сложных процессов, из-за сложности управления.

Объектом исследования является процесс абсорбции (поглощения) метанола и формальдегида из контактного газа при производстве технического формалина. Технический формалин – это водный раствор формальдегида и метанола (вода – 52%, формальдегид - 40%, метанол- 8%) [1].

Процесс абсорбции метанола и формальдегида из контактного газа осуществляется по известной стандартной технологической схеме каталитического окислительного дегидрирования метанола - синтез формальдегида на катализаторе "серебро на пемзе" [2].

В настоящее время всё большее внимание уделяется методам компьютерного моделирования, которые позволяют снизить финансовые затраты на проектирование и изготовление экспериментальных стендов и установок, а также позволяют ускорить процесс проектирования различного оборудования. При этом, на основе виртуального прототипа, можно оптимизировать конструкции, технологические схемы, а также режимы технологических процессов. Одним из методов такого моделирования может выступать универсальный моделирующий пакет (УМП) ChemCAD 5.2.

Синтезированная в указанном УМП технологическая схема процесса абсорбции метанола и формальдегида из контактного газа, полностью соответствует существующей производственной установке. Эта схема представляет собой набор модулей соединенных между собой потоками и показана на рисунке 1. Характеристики оборудования и питающих потоков аналогичны характеристикам действующей установки абсорбции метанола и формальдегида. Расчет технологической схемы проводится по моделям NRTL (глобальная модель константы равновесия) и Lee-Kesler (глобальная модель энтальпии), которые имеются в базе данных УМП [3, 4].

Адекватность предлагаемой модели проверялась путем сравнения материальных балансов синтезированной в УМП схемы со схемой работающей установки. Погрешность составила не более 5%.

часть, непрореагировавших веществ будет конденсироваться и может возвращаться в основной процесс. Однако в УМП ChemCAD 5.2. отсутствует модуль для расчета этого аппарата, так как он является нестандартным. Но имеется модуль позволяющий прописывать пользовательскую функцию (UDF – функция). Эта UDF – функция представляет собой программу, в которую входят уравнения гидродинамики, теплопередачи и термодинамики, эти уравнения прописываются в УМП с помощью Visual Basic for Application (VBA). Решение этих гидродинамических уравнений проводится в программе Wolfram Mathematica, а результаты данного решения записываются в Excel, которые, в свою очередь, с Excel переносятся в программу ChemCAD 5.2.

Сборка схемы модели для процесса абсорбции метанола и формальдегида из контактного газа с контактным конденсатором вихревого типа представлена на рисунке 2.

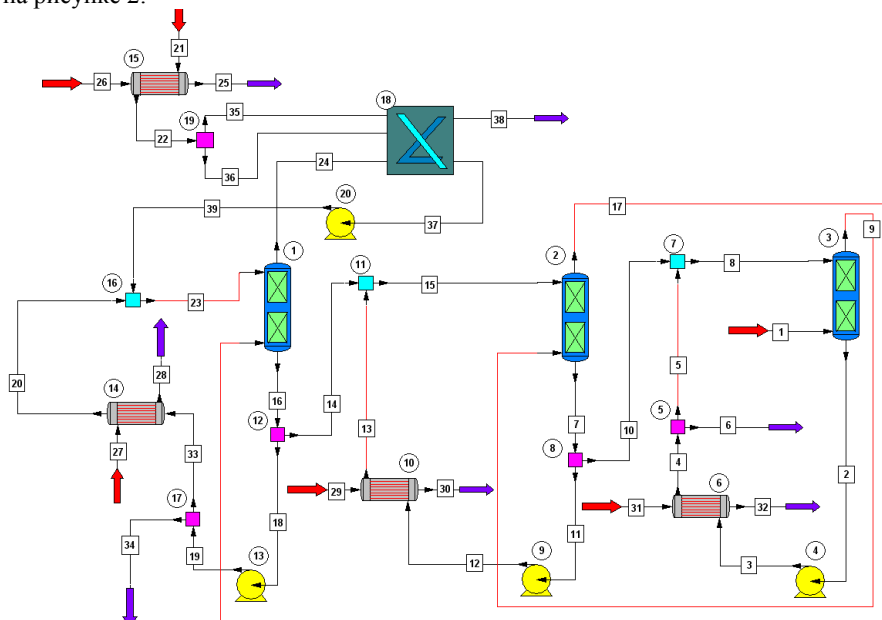


Рисунок 2 – Синтезированная технологическая схема в УМП существующей установки получения технического формалина с использованием контактного конденсатора вихревого типа.

Оборудование: 1, 2, 3- абсорбер (число теоретических тарелок минимальное); 4, 9, 13, 20 - насосы; 5, 8, 12, 17, 19 - делители (для разделения потоков); 6, 10, 15 – холодильник; 7, 11, 16 - смесители (объединение потоков); 14 - испаритель; 18 – контактный конденсатор вихревого типа.

Потоки: 1 – питание абсорбера 3 (контактный газ); 21 – поток свежей воды (подпитка); 26, 29, 31 – прямая вода (для охлаждения), 27 – жидкий аммиак (температура отрицательная), 34 – вода с малым содержанием веществ

входящих в состав контактного газа; 6 – метанольный формалин; 38 – абсорбционный газ.

Таким образом, построенные модели в универсальном моделирующем пакете позволяют проводить не только подбор характеристик технологического оборудования, но и выявлять режимные параметры действующей и модифицированной (с использованием нестандартного оборудования) технологических схем на химических предприятиях, что значительно снизит финансовые затраты самих предприятий.

Литература

1. ГОСТ 1625-89 (СТ СЭВ 2337-80) Формалин технический. Технические условия. Использование и издательское оформление. - М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. – 18 с.

2. Платэ, Н.А. Основы химии и технологии мономеров: Учеб. Пособие / Н.А. Платэ, Е.В.Сливинский. – М.: Наука: МАИК “Наука/Интерпериодика”, 2002. – 696 с.

3. Москалев, Л.Н. Применение контактного конденсатора вихревого типа при поглощении метанола из контактного газа / Л.Н. Москалев, С.И. Поникаров // Теоретические основы химической технологии. - 2016. - Т. 50. - № 2. - С. 200;

4. Москалев, Л.Н. Исследование установки очистки абсорбционных газов от метанола и формальдегида при производстве технического формалина при условии наращивания мощности / Л.Н. Москалев, С.И. Поникаров // Вестник технологического университета. - 2016. Т. 19. - № 5. - С. 138.

5. Москалев, Л.Н. Моделирование процесса очистки газообразных выбросов в производстве технического формалина / Л.Н. Москалев, С.И. Поникаров // Моделирование и оптимизация химико-технологических процессов и систем «РАПХИ-2016». - 2016. - С. 105;

Moskalev L.N., Simulation process cleaning gaseous emissions in the production of technical formalin / Moskalev L.N., Ponikarov S.I. // AMERICAN – RUSSIAN CHEMICAL ENGINEERING SCIENTIFIC SCHOOL «ARChESS-2016». - 2016. - С. 152.

6. John, T. Adsorption and decomposition of formaldehyde on tungsten (100) and (111) crystal planes / T. John, Jr. Yates, E. Madey Theodore, J. Dresser Miles // Journal of Catalysis. – 1973. – 30 (2). – PP 260.

7. Патент RU 124778 U1 МПК F28B 3/08. Тепломассообменное устройство вихревого типа. Москалев Л.Н., Поникаров С.И., Поникаров И.И., Алексеев В.В., 2012.

8. Патент RU 2502929 C1 МПК F28B 3/00. Тепломассообменное устройство вихревого типа. Москалев Л.Н., Поникаров С.И., Поникаров И.И., Алексеев В.В., 2013.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

А.Ю. Низамеев, Ф.Т. Юсупов, А.А. Саешиин, Э.Н. Идрисов, А.М. Зиятдинов,
Е.Л. Матухин

*420032, Республика Татарстан, Россия, г. Казань, ул. 1 Мая, д.14.
E-mail:kazanpowder@KGTS.ru*

Рассматривается математическое описание основных технологических процессов и их применение в химической промышленности на примере производства целлюлозы и продуктов на ее основе

Ключевые слова: математическая модель, компьютерное моделирование, целлюлоза.

Considered mathematical description of the main technological processes and their using in chemical industry on cellulose production example and products on her (its) base of the

Keywords: mathematical model, computer modeling, cellulose.

На сегодняшний день достаточно трудно на практике оптимизировать современное производство, изучить процесс, происходящий внутри на каждой стадии формирования продукта. Наиболее эффективный метод решения этой проблемы является метод математического моделирования, т.е. некоторое упрощенное изображение процесса каждого процесса, которое сохраняет наиболее существенные свойства реального объекта и передает их в математической форме. С помощью правильно составленной математической модели можно управлять процессом, поэтому в настоящее время проблема создания модели является актуальной. Последовательность стадий обычно описывается с помощью технологической схемы, каждый элемент которой соответствует определенному технологическому процессу.

В химической промышленности широко применяется ручной труд и поэтому создание математической модели таких операций как этерификация целлюлозы, стабилизация нитратов целлюлозы и др. являются очень важной на сегодняшний день [1,2].

Для сложных процессов (а таких большинство) математическое описание должно содержать уравнения баланса всех независимо образующихся веществ. В этом случае математическое описание удобно представить в матричной форме. Для решения задач, связанных с регулированием и чувствительностью процесса к колебаниям граничных значений параметров, надо пользоваться математическим описанием динамического режима, включающим производные концентраций и температуры по времени. Решение уравнений математического описания иногда довольно громоздко, но с помощью электронной вычислительной техники может быть выполнено в большинстве случаев без

большой затраты машинного времени. Цифровые электронные вычислительные машины позволяют решать практически все задачи, возникающие при расчете химических реакторов. Они обеспечивают высокую точность и позволяют выполнять логические операции. Для решения многих задач удобно использовать аналоговые машины, в которых создается электрическая схема, подчиняющаяся уравнениям, тождественным уравнениям математического описания химического процесса. Изменение электрических параметров моделирует, таким образом, изменение концентраций реагирующих веществ и температуры в химических аппаратах. Преимуществом аналоговых машин являются наглядность решения, простота подготовки задачи и удобство вариации отдельных параметров.

Компьютерное моделирование технологических процессов состоит в оптимизации исходного технологического объекта его «образом» – математической моделью, – и в дальнейшем изучении модели с помощью реализуемых на персональных компьютерах (ПК) вычислительно-логических алгоритмов [2]. Процесс компьютерного моделирования, как единый процесс построения и исследования модели, – используется для исследования, анализа, проектирования и оптимизации технологических объектов (систем) и технологий. Метод компьютерного моделирования сочетает достоинства как теории, так и эксперимента. Работа не с самим объектом (явлением, процессом), а с его моделью даёт возможность исследовать его свойства и поведение в любых ситуациях.

Выводы

Математическое моделирование нужно рассматривать как основной научный метод разработки химико-технологических процессов. Следует подчеркнуть, что применение математического моделирования предъявляет повышенные требования к исследованиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Ю. Низамиев, А.А. Саетшин, З.Т. Валишина, Е.Л. Матухин, А. В. Косточко/Оптимизация современного производства на основе компьютерного моделирования технологических процессов/ Вестник Казанского технологического университета, 2017.-Т.20.-№6.-С-121-123.
2. Низамиев А.Ю., Саетшин А.А., Юсупов Ф.Т., Борбузанов В.Г., Матухин Е.Л., Косточко А.В./ Оптимизация производства на основе математического и компьютерного моделирования технологических процессов/ Материалы Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2016» (МНТК «ИМТОМ–2016»), – Казань, - 2016, Ч. 1- С 134-137.

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ СЖАТОГО ВОЗДУХА ПОСЛЕ ВОЗДУШНОГО АККУМУЛЯТОРА НА КОНСТРУКЦИЮ РЕГЕНЕРАТОРА В СХЕМЕ ВАГТЭ

Новичков С.В., Григорьев И.С.

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.
410054 г. Саратов, ул. Политехническая, 77*

Аннотация. Одним из способов, позволяющих сглаживать неравномерность электропотребления, является производство электроэнергии на основе воздушно-аккумулирующих газотурбинных электростанций. Одним из элементов тепломеханического оборудования на ВАГТЭ является регенератор, устанавливаемый на выхлопе уходящих газов газотурбинной установки для подогрева сжатого после воздушного аккумулятора перед камерой сгорания. В статье проведен расчет на прочность элементов регенератора ВАГТЭ.

Annotation. One of the ways allowing to smooth unevenness of a power consumption is electricity generation on the basis of compressed-air power station. One of elements of the heat machinery equipment on the compressed-air power station is the regenerator set on turbine exhaust gas for heating of the air accumulator compressed later in front of the combustion chamber. Calculation on durability of elements of a exhaust boiler of the compressed-air power station is carried out.

Ключевые слова: воздушно-аккумулирующая газотурбинная электростанция, воздушный аккумулятор, регенератор, расчет на прочность, давление, толщина.

Одной из технологий, позволяющих регулировать неравномерность электропотребления, особенно в период пикового её спроса, является технология по производству электроэнергии на основе воздушно-аккумулирующих газотурбинных электростанций (ВАГТЭ) [1].

В целом выполненные в различных странах проработки показали, что ВАГТЭ могут эффективно использоваться для покрытия пиков электрической нагрузки продолжительностью 1-2 тыс. ч в год, и работать в средней части графика нагрузки и успешно конкурировать в этой зоне с ГАЭС и обычными ГТУ.

Одним из элементов тепломеханического оборудования на ВАГТЭ является регенератор, устанавливаемый на выхлопе уходящих газов газотурбинной установки (ГТУ) для подогрева сжатого после воздушного аккумулятора перед камерой сгорания. Введение в схему ВАГТЭ регенератора в сильной степени повышает её экономичность. Вместе с тем, наличие регенератора усложняет ВАГТЭ, увеличивает её вес и габариты. Поэтому при

проектировании регенераторов большое внимание уделяется простоте и компактности конструкции. Также весьма важно, чтобы гидравлические сопротивления регенератора были бы по возможности минимальными, так как выгоды от применения регенерации в значительной степени снижаются из-за дополнительных сопротивлений, вызванных введением регенератора.

В ГТУ находят применение трубчатые, пластинчатые и вращающиеся регенераторы. Наибольшее распространение получили трубчатые регенераторы, поверхность нагрева в которых образована большим числом трубок. Так как воздух в регенераторе находится под более высоким давлением, чем отработавшие газы, то по условиям прочности обычно воздух пропускается внутри трубок, а газы омывают трубки снаружи. При этом напряжения в корпусе получаются невысокими. Наиболее опасными местами в трубчатом регенераторе являются многочисленные соединения трубок с трубными досками. Тонкостенные трубки прогреваются значительно быстрее, чем массивные трубные доски, а невозможность свободных расширений вызывает термические напряжения, которые складываются с напряжениями, вызванными давлением, и с остаточными напряжениями после вальцовки.

Для снижения термических напряжений целесообразно увеличивать гибкость соединений, уменьшать тепловые потоки к более тонким деталям, работать с минимальными изменениями температур, сохраняя регенератор при остановках в горячем состоянии и увеличивая продолжительность пуска (или байпасируя регенератор по воздушной стороне в течение первых 5 мин пуска). Целесообразно также использовать материалы с небольшим коэффициентом температурных расширений (например, ферритные вместо аустенитных), уменьшать или исключать вообще термические сопротивления в соединениях путем вальцовки труб перед приваркой, увеличения глубины шва или сварки на воротник. Напряжения, вызванные давлением, можно уменьшить, используя вместо плоских трубных досок цилиндрические трубные доски, а также уменьшая общие размеры аппарата.

Расчет ВАГТЭ производился при следующих исходных данных: давление сжатого воздуха после компрессора принято 6,6 МПа; давление перед камерой сгорания (после воздушного аккумулятора) – 5,5 МПа; расход воздуха через компрессор составил 150 кг/с; температура после камеры сгорания – 1300 °С; время цикла заряда – 6 ч/сут; время цикла разряда – 4 ч/сут; температура сжатого воздуха после воздушного аккумулятора – 50 °С

На основе методических положений [2, 3] были осуществлены следующие расчеты на прочность элементов регенератора при работе в составе схемы ВАГТЭ:

-) подбор толщины заглушки камеры;
-) расчет на прочность стенок труб теплообменника;
-) расчет на прочность трубы кожуха;
-) расчет толщины стенки патрубка входа подогреваемого газа;
-) учтено влияние отверстий в камере и кожухе;
-) расчет трубной решетки.

В результате расчёта получена следующая конструкция регенератора. Он должен быть выполнен полностью из стали аустенитного класса 12X18H10T; толщина стенок теплообменника 5 мм; врезки входа воздуха с наружным диаметром 630 мм и толщиной 24 мм; толщина трубной решётки 230 мм. Отверстия располагаются в шахматном порядке с шагами (горизонтальный и диагональный) 200 мм, расположенными под углом 30° относительно друг друга.

Определено изменение толщин элементов регенератора от давления, создаваемого компрессором в диапазоне 5,6 МПа – 7,6 МПа (таблица, рисунок).

Увеличения давления создаваемого компрессором, и как следствие давления после воздушного аккумулятора на 2 МПа (35,7%) вынуждает увеличивать толщину днища регенератора на 20 мм (28,6%), толщину ТОТ – на 1,5 мм (37,5%), толщину обечайки – 30 мм (37,5 %), толщину патрубков по воздуху – 6 мм (37,5%), толщину трубной решётки – 50 мм (25 %).

Таблица – Толщины элементов теплообменника

| Давление, МПа | 5,6 | 6,6 | 7,6 |
|----------------------------------|-----|-----|-----|
| Толщина днища, мм | 70 | 80 | 90 |
| Толщина ТОТ, мм | 4 | 5 | 5,5 |
| Толщина обечайки, мм | 80 | 90 | 110 |
| Толщина патрубков по воздуху, мм | 16 | 20 | 22 |
| Толщина трубной решётки, мм | 200 | 230 | 250 |

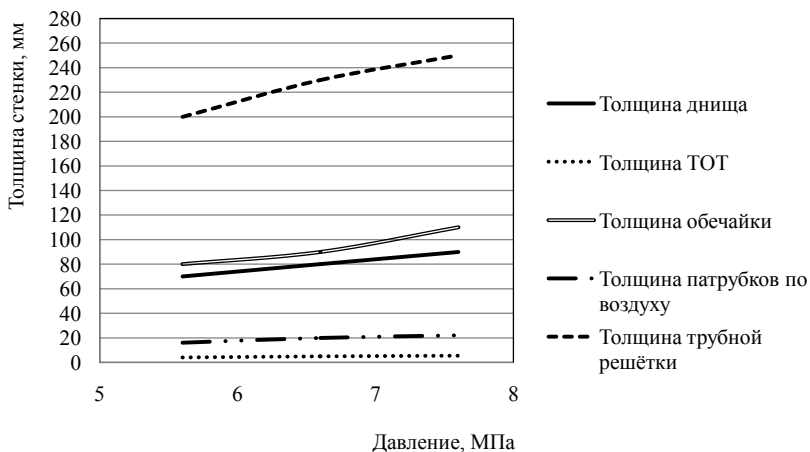


Рис. Зависимость толщины элементов регенератора от давления после компрессора

Список литературы:

1. Воздушно аккумулирующие газотурбинные электростанции (ВАГТЭ) Г.Г. Ольховский, В.А. Казарян, А.Я. Столяревский.: Институт компьютерных исследований, 2011. – 360 с.
2. ГОСТ 24755-89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность укрепления отверстий.
3. РД 26-14-88. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность укрепления отверстий.

**СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКИХ ШУМОВ
АВТОМОБИЛЯ**

Пшеничный П.В., Казанский федеральный университет,
pavel.pchenitchnyi@kpfu.ru

Стрекалов В.А., Казанский федеральный университет,
vladimir.strekalov@kpfu.ru

Тагиров Р.Р., Казанский федеральный университет, ravil.tagirov@kpfu.ru
Шаймухаметов Р.Р., Казанский федеральный университет, ramil.shai@mail.ru

Представлены результаты спектрального анализа акустических шумов ДВС автомобиля. Звук был записан с помощью диктофона, размещенного под капотом автомобиля, при различных режимах работы четырехцилиндрового бензинового двигателя. Сделаны предположения о физических процессах в двигателе, определяющих характерные особенности периодограмм.

The results of the Fourier spectroscopy of the acoustic noise of an internal combustion engine are presented. The sound was recorded using a voice recorder placed near the engine under varied operating conditions for the four-cylinder petrol engine. The distinctive characteristics of the periodograms were associated with the certain physical processes in the engine.

Ключевые слова. Энергетический спектр шума, ДВС, периодограмма, окно Хемминга.

Acoustic power spectrum, internal combustion engine, periodogram, Hamming window.

Звуковое поле определяется разнообразными физическими процессами двигателя автомобиля. Извлечение полезной информации из акустических данных позволяет решать ряд прикладных задач, в частности, по характеру акустических шумов производить диагностику неисправностей автомобиля [1], идентифицировать автомобиль по звуку. Адекватная модель шумов позволяет

улучшать эргономические показатели автомобиля, в настоящее время разрабатываются методы активного подавления в салоне автомобиля [2, 3].

Многообразность и взаимозависимость источников акустического шума обуславливает сложную структуру звукового поля. Тем не менее, периодичность процессов в двигателе дает надежду на эффективность спектральных методов анализа.

В настоящей работе представлены результаты исследования акустических шумов двигателя Chevrolet Cruze (бензиновый, 120 л.с., рядный, 4 цилиндра). Сигналы записывались с помощью диктофона, установленного под капотом автомобиля вблизи цилиндров двигателя (частотный диапазон 200 – 7000 Гц, соотношение сигнал/шум 37 дБ), для исключения влияния АРУ диктофона на определение мощности сигнала использовался генератор, по уровню звука которого производилась нормировка.

Данные записывались для разнообразных режимов работы двигателя (городской режим, шоссе, при различных частотах вращения вала двигателя). Записи для спектрального анализа имели частоту дискретизации 16000 Гц, периодограммы строились на основе 2-х секундных реализаций (за это время механические детали своей инерционностью обеспечивали стационарность спектральных характеристик), энергетические спектры вычислялись с помощью БПФ (2048 точек, окно Хемминга).

На рисунке 1 приведена типичная периодограмма звуков двигателя во время движения автомобиля по шоссе. Слева энергетический спектр в условных единицах (нормировка по максимуму), справа в логарифмическом масштабе.

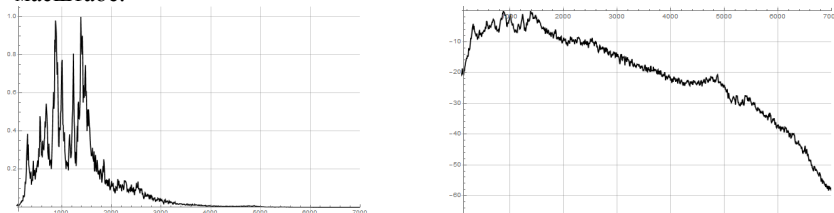


Рисунок 1. Типичный энергетический спектр шумов в линейном и логарифмическом масштабах.

Ширина спектра зависела от частоты вращения коленчатого вала двигателя. На рисунке 2 приведены энергетические спектры при частотах вращения 900 и 2300 об/мин. В среднем ширина спектра по уровню мощности 0.5(3 дБ) составляла 1 кГц (полоса 600-1600 Гц).

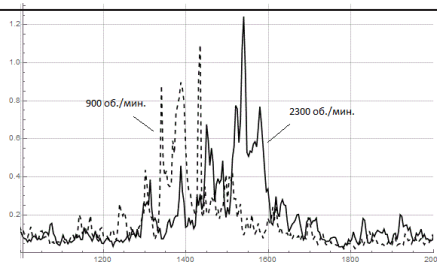


Рисунок 2. Зависимость формы спектральной плотности от частоты вращения вала двигателя.

Характерной особенностью всех спектров является наличие локального максимума на частоте около 5000 Гц, который отчетливо заметен при логарифмическом масштабе на оси мощности звука (рисунок 3).

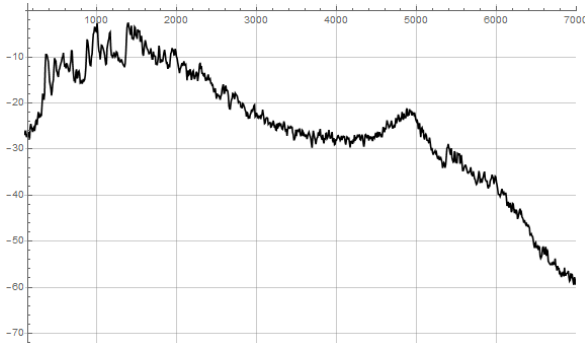


Рисунок 3. Энергетический спектр акустических шумов логарифмическом масштабе.

Для сравнения звука при различных режимах работы двигателя по уровню мощности под капотом был установлен генератор звука. На рисунке 4 представлены периодограммы при частоте вращения вала двигателя 2300 об./мин. и 900 об./мин., нормированные по мощности к сигналу генератора звука (эта процедура исключила влияние автоматической регулировки усиления диктофона). Из рисунка видно, что при повышении частоты оборотов двигателя значительно повышается мощность звука.

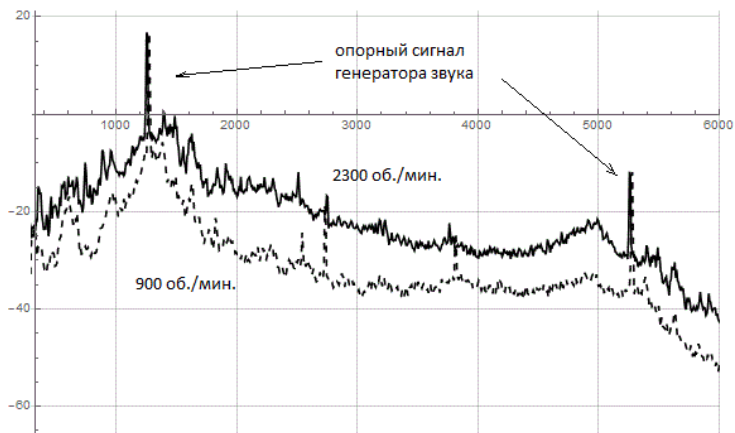


Рисунок 4. Периодограммы, нормированные к уровню звука опорного генератора.

В целом экспериментальные данные показывают, что основная энергия звука двигателя сосредоточена довольно в узком частотном диапазоне. Возможно, основная генерация звука определяется процессами горения топлива, механические колебания поршней имеют слишком малую частоту для генерации регистрируемого звука, но они могут модулировать более высокочастотные составляющие и наблюдаться в виде гармоник.

Дополнительного исследования требует выявление природы локального максимума с частотой 5000 Гц. Подходящими параметрами для генерации такого высокочастотного звука обладают детонационные волны, гипотетически частичная детонация топливно-воздушной смеси может служить причиной этой составляющей спектра.

Литература.

1. Дрейзин, В.Э. Возможности диагностики автомобильных двигателей путем анализа шума работающего двигателя / Дрейзин В.Э., Касем М.М. // Известия Юго-западного государственного университета. – 2009. – № 2(27). – С.32.
2. Elliott, S. A review of active noise and vibration control in road vehicles / S. Elliott // ISVR Technical Memorandum, Technical Report. - 2008. No –981.
3. Hasegawa, S. The development of an active noise control system for automobiles / S. Hasegawa, T. Tabata, A. Kinoshita, and H. Hyodo // SAE Technical Report. - 1992. – No – 922086.
4. Григорьев, Е.А. Периодические и случайные силы, действующие в поршневом двигателе / Е.А. Григорьев – М.: Машиностроение, 2001. - 272с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ОПОР ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ СО СБОРНЫМ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМ ФУНДАМЕНТОМ НОВОГО ТИПА НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПК ANSYS

¹Радайкин Олег Валерьевич – к.т.н., доцент кафедры ЖБ и КК

¹Шарафугдинов Линар Альфредович – аспирант

^{2,3}Сабитов Линар Салихзанович – к.т.н., доцент

⁴Стрелков Юрий Михайлович – руководитель проекта строительства ПГУ на Казанской ТЭЦ 1

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет;

²Казанский государственный энергетический университет;

³Казанский (Приволжский) федеральный университет;

⁴ООО «Инженерный центр «ЭНЕРГОПРОГРЕСС»

Аннотация. Целью работы ставилось изучить совместную работу конструктивной системы «стальная опора воздушной линии электропередачи на 10 кВ – сборно-разборный железобетонный фундамент нового типа [1] – грунт основания». Для этого разработана методика компьютерного моделирования в ПК «Ansys» данной системы. Методика учитывает пространственную работу конструкций и физическую нелинейность материалов, из которых они изготовлены. При этом для стали была использована теория Мизеса, для бетона – Вильямса-Варнаке, для грунта основания – Друккера-Прагера. Кроме того, все необходимые геометрические, силовые и физические характеристики модели были получены на основе действующих строительных Норм на проектирование. Анализ НДС системы показал, что её прочность, жёсткость и устойчивость обеспечены, причём есть резервы: для металла опоры – до 15%, для фундамента – 30%, грунта основания – 1%. Поэтому в дальнейших исследованиях следует рассмотреть оптимизационную задачу по выбору эффективного конструктивного решения опоры и фундамента (с уточнением методики их расчёта), что может быть основанием для подачи заявки на патент либо полезную модель. Исходя из полученных в работе результатов рекомендуется новый тип сборно-разборных фундаментов применять в реальных условиях.

Ключевые слова: железобетонный фундамент, многогранная стальная опора, воздушная линия.

Abstract. The aim of this work was to study the joint work of structural systems "steel bearing overhead power transmission lines 10 kV – prefabricated concrete Foundation of a new type [1] – ground". For this purpose the technique of computer simulation in a PC "ANSYS" of the system. The method takes into account the spatial work of designs and physical nonlinearity of materials from which they are made. In addition, for steel was used in the theory of Mises, for concrete – Williams-Warnake, for ground – Drucker-Prager. In addition, all the necessary geometric, strength and physical characteristics of the model were obtained on the basis of the

existing construction Standards for the design. The analysis of stress shows that its strength, stiffness and stability is provided, and there are reserves: for the metal supports – up to 15% to the base – 30%, ground – 1%. Therefore, further studies should consider the optimization problem for the choice of an effective constructive solution of the support and Foundation (with clarification on how to calculate them), that may be grounds to apply for a patent or utility model. Based on the obtained results it is recommended that a new type of collapsible foundations to apply in the real world.

Key words: reinforced concrete foundation, a multi-faceted steel column, air line.

Экономическая мощь любого государства определяется потенциалом энерговооруженности общества. Этот потенциал зависит от многих фактор, например, от развитости объектов энергетической инфраструктуры, материалоёмкости строительных конструкций, применяемых на таких объектах и т.п. В частности, при проложении воздушных линий электропередач различной мощности и назначения используются разнообразные стальные опоры и железобетонные фундаменты под них. От того насколько экономичным окажутся конструктивные решения опор и фундаментов зависит себестоимость транспортировки электроэнергии от источника к потребителю, а, в конечном счете, и себестоимость всей продукции, производимой на основе электричества. То есть исследования, направленные на поиск таких конструктивных решений, имеют важное народнохозяйственное значение.

В работе в качестве объекта исследования рассматривается строительная система «стальная опора воздушной линии (ВЛ) электропередачи 10 кВ – железобетонный фундамент – грунт основания».

Опора ВЛ имеет известное конструктивное решение по Серии 3.407.2-181.09 «Многогранные стальные опоры ВЛ 6-10 кВ» – опора анкерно-угловая СМ10АУ, пригодная для эксплуатации в климатических условиях в том числе г.Казани (II-ой ветровой район, II-ой район по гололёдности). Опора предназначена для подвески неизолированных сталеалюминиевых проводов по ГОСТ 839-80, а также самонесущих изолированных проводов типа СИП-3 (SAX) по ТУ 16.К71-272-98. Из представленных в нормативах проводах наибольшую нагрузку на пору имеет провод марки АС 185/29, который и примем для расчёта (площадь алюминиевой части – 185 мм^2 , стального сердечника – 19 мм^2 , диаметр провода – 18,8 мм, погонная масса – 7,28 кг/м, разрывное усилие – 62,1 кН).

Фундамент является сборно-разборным и выполняется согласно патенту [1]. Общий вид фундамента показан на рис. 2. Его экономическая эффективность может быть обеспечена не только за счёт низкой трудоёмкости при монтаже-демонтаже и небольшими транспортными расходами – об этом сказано в тесте патента – но и расчётным способом при оценке напряжённо-деформированного состояния системы «стальная опора – фундамент – грунт» с учётом их совместной работы.

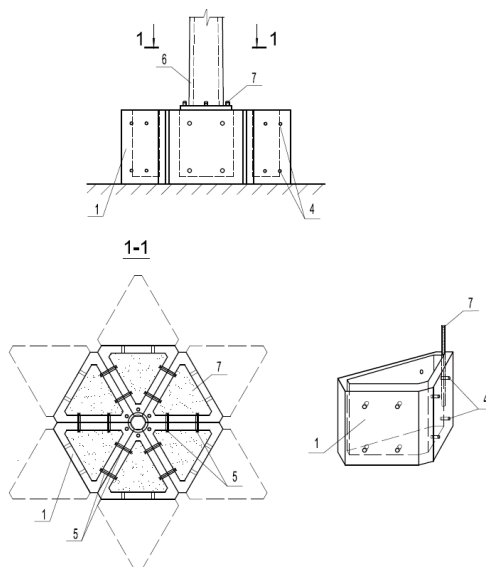


Рис. 2. Общий вид сборно-разборного фундамента [1]

Грунтовые условия в месте установки опор могут быть различные, прием наихудший вариант, который допускает СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений»: тип грунта – глинистый грунт, непросадочный, ненабухающий; коэффициент пористости 0,95; модуль деформаций $E=8$ МПа; показатель текучести $I_L=0,5$; сцепление грунта $c=15$ кПа; угол внутреннего трения $\varphi=17^0$; расчётное сопротивление $R_0=150$ кПа; коэффициент жёсткости основания (коэффициент постели) $k=10$ МПа/м (Справочник проектировщика (Расчетно-теоретический). Т.2, под ред. Уманского А.А., 1973. С. 307).

Наиболее подходящим, для изучения рассматриваемой системы средством является компьютерное моделирование в программном комплексе (ПК)«ANSYS», который позволяет учитывать пространственную работу конструкций и физическую нелинейной материалов, из которых они изготовлены.

Суть методики моделирования заключается в следующей последовательности:

1 – определение нагрузок на конструкции (на основе положений СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия» и ПЭУ-7);

2 – статический расчет стальной опоры отдельно, как жёстко заделанной консольной стойки полого сечения (в результате этого определяется нагрузка на обрез фундамента);

3 – определение размеров подошвы фундамента исходя из нагрузки на него;

4 – моделирование единой системы «опора-фундамент-грунт», определение в ней НДС;

5 – проверка элементов системы по прочности, устойчивости и деформативности (соответственно по 1-й и 2-й группам предельных состояний).

Поскольку нас интересует совместная работа с фундаментом только единичной опоры, то можно её рассмотреть без проводов, заменив их действие соответствующей нагрузкой. В противном случае следовало бы рассмотреть весь так называемый «анкерный пролёт» длиной до 3 км, в пределах которого располагалось бы несколько промежуточных опор; все опоры тогда были бы объединены проводами, имеющими определённый провис (который зависит от типа провода, длины промежуточных пролётов и температуры окружающей среды). Таким образом, расчётная схема опоры на первом этапе моделирования показана на рис. 1, б.

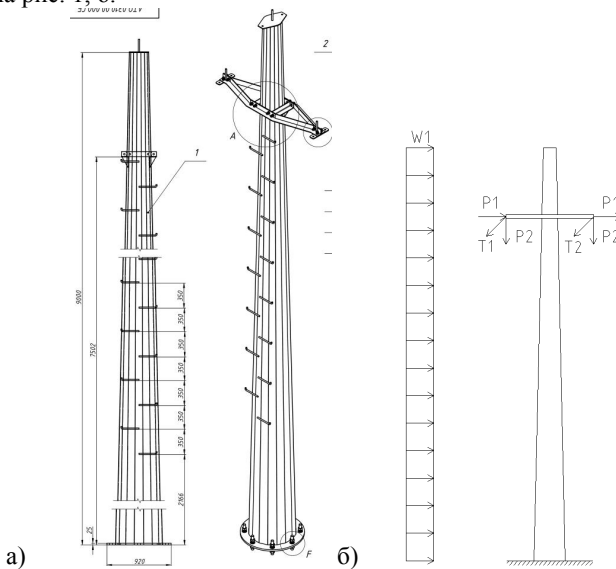


Рис. 1. Опора СМ-10АУ: а – общий вид, б – расчётная схема

В расчете учитываются нагрузки следующих видов:

1 – в зависимости от направления действия:

- горизонтальные (ветер на опору, ветер на провода и тросы, от тяжения проводов и тросов) и
- вертикальные (собственный вес опоры, вес гирлянд изоляторов (с арматурой), вес проводов и тросов, гололёдная нагрузка, монтажная нагрузка (вес монтажера с инструментами));

2 – в зависимости от продолжительности действия:

- постоянные (собственный вес опоры, вес проводов);

– временные (ветер, гололёдная нагрузка на провода и на траверсу).

Отдельная нагрузка – температурная. Поскольку работу тросов не рассматриваем, поэтому эту нагрузку в расчётах не учитываем.

Согласно ПЭУ-7 стальные опоры рассчитываются на следующие сочетания нагрузок:

1 схема (нормальный режим): Провода и трос не оборваны и свободны от гололёда. Ветер направлен вдоль осей траверс.

2 схема (нормальный режим): Провода и трос не оборваны и покрыты гололёдом. Ветер направлен вдоль осей траверс.

3 схема (аварийный режим): Оборван один провод (по правой/левой стороне), дающий крутящий момент на опору.

4 схема (аварийный режим): Оборвано два провода.

Система «опора-фундамент-грунт» включает в себя элементы, образованные из материалов с качественно и количественно отличающимися физико-механическими свойствами. Для их моделирования были использованы соответствующие типы конечных элементов и законы деформирования. Их перечень представлен в табл.

Таблица

К построению конечно-элементной модели

| Параметр КЭ-модели | Стальная опора | Железобетонный фундамент | Грунт основания |
|------------------------|---|--|--------------------------------|
| Геометрические размеры | В сечении 16-ти угольная труба переменного сечения (Ø676 – Ø282) длиной 9 м | Правильный шестигранник в плане со стороной 1,8 м, высотой 0,6 м, состоящий из призм с основанием в виде правильного треугольника со стороной 0,6 м. | Массив 10x10x10 м |
| Тип конечного элемента | Shell 181 | Solid 65 | Solid 45 |
| Закон деформирования | Двухлинейная диаграмма, кинематическое упрочнение с эффектом Баушенгера | Криволинейная диаграмма Карпенко-Радайкина [3] | Определяется теорией прочности |
| Теория прочности | Мизеса | Вильяма-Варнаке | Друккера-Прагера |

Предварительно был выполнен расчёт одиночной опоры, как жёстко заделанной консольной балки, то есть без учёта фундамента и грунта

основания. В результате этого были определены следующие нагрузки на фундамент: в нормальном режиме – $N=4078\text{кг}$, $Q=599\text{кг}$, $M=3727\text{кг}\cdot\text{м}$; в аварийном – $N=3526\text{кг}$, $Q=1923\text{кг}$, $M=13657\text{кг}\cdot\text{м}$. По формулам СП 22.13330.2011 по этим нагрузкам вычислены требуемые габариты фундамента (см. табл.). После этого сформирована общая модель системы «опора-фундамент-грунт», которая показана на рис. 4.

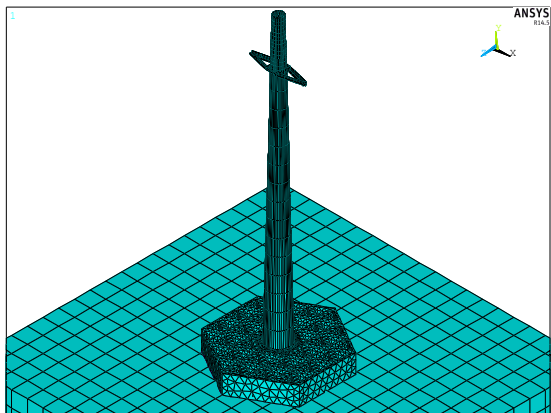


Рис. 4. Конечно-элементная модель системы «опора-фундамент-грунт»
Результаты определения НДС в модели показаны на рис. 5.

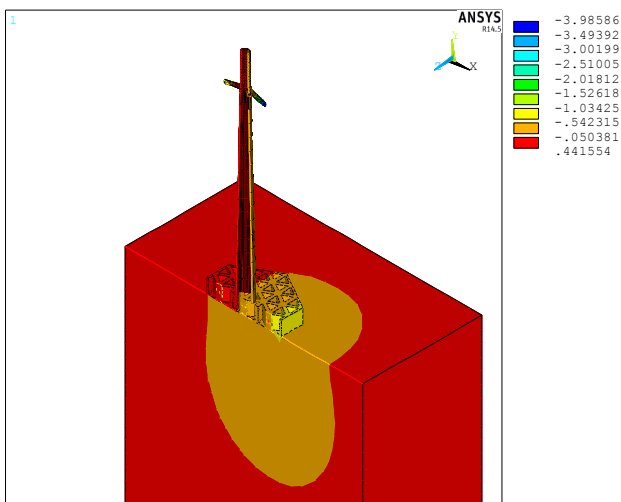


Рис. 5. Оценка НДС системы «опора-фундамент-грунт»

Выводы:

1. Разработана методика компьютерного моделирования в ПК «Ansys» конструктивной системы «стальная опора ВЛЭП-сборно-разборный фундамент нового типа[1]-грунт основания». Методика учитывает пространственную работу конструкций и физическую нелинейность материалов, из которых они изготовлены. При этом для стали была использована теория Мизеса, для бетона – Вильямса-Варнаке, для грунта основания – Друккера-Прагера. Кроме того, все необходимые геометрические, силовые и физические характеристики модели получены на основе действующих строительных Норм по проектированию.

2. Анализ НДС системы показал, что её прочность, жёсткость и устойчивость обеспечены, причём есть резервы: для металла опоры –до 15%, для фундамента – 30%, грунта основания – 1%. Поэтому в дальнейших исследованиях следует рассмотреть оптимизационную задачу по выбору эффективного конструктивного решения опоры и фундамента (с уточнением методики их расчёта), что может быть основанием для подачи заявки на патент либо полезную модель.

3. Установлено, что совместная работа стойки с фундаментом обеспечивается. Податливость сопряжения призм, из которых состоит фундамент, не оказала существенного влияния на НДС системы в целом. Исходя из перечисленного рекомендуется новый тип сборно-разборных фундаментов применять в реальных условиях.

Список библиографических ссылок

1. Патент РФ № 2633604, 04.12.2000. Сборно-разборный фундамент под опору // Патент России № 2633604. 2017. Бюл. № 29. / Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Хусаинов Д.М., Сабиров С.И., Ахунова З.Р., Стрелков Ю.М.

2. Крюков К.П., Новгородцев Б.П. Конструкции и механический расчёт линий электропередачи. – Л.: Энергия, 1979. – 312 с.

3. Карпенко Н.И., Радаikin О.В. К совершенствованию диаграмм деформирования бетона для определения момента трещинообразования и разрушающего момента в изгибаемых железобетонных элементах (статья) «Строительство и реконструкция». – Орёл: Изд. ОГТУ, 2012, №2. – С. 10-16.

4. Сабитов Л.С., Ахунова З.Р., Хусаинов Д.М., Кузнецов И.Л., Стрелков Ю.М. Сборно-разборный фундамент под опору // Материалы международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы -2016», в двух частях. Ч.2. – 282с., С.227-230.

5. L S Sabitov, N F Kashapov, I R Gilmanshin, Yu M Strelkov, D M. Khusainov Development and investigation of the stressed-deformed state of the demountable foundation for support // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 240 (2017) 012005 doi:10.1088/1757-899X/240/1/012005.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ГЛУБОКОГО ОХЛАЖДЕНИЯ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ ПГУ

Ростунцова Ирина Алексеевна, Русаков Дмитрий Александрович

Саратовский государственный технический университет имени Ю.А.
Гагарина

410054 г. Саратов, ул. Политехническая, 77

Аннотация. Предлагается схема и методика расчета эффективности глубокого охлаждения уходящих газов ГТУ путем их отвода с применением градирни.

Annotation. A scheme and methodology for calculating the efficiency of deep cooling of GTU off-gases by their withdrawal using a cooling tower is proposed.

Ключевые слова: парогазовая установка, градирня, котел-утилизатор, самотяга градирни, влажность воздуха

Рассмотрена парогазовая установка электростанции, содержащая газотурбинную установку, котел-утилизатор, паротурбинную установку и систему оборотного водоснабжения. Система оборотного водоснабжения включает циркуляционный насос, напорный трубопровод к конденсатору паровой турбины и сливной напорный трубопровод к градирне, состоящей из вытяжной башни и водосборного бассейна. Распределительное устройство состоит из нескольких соединенных между собой патрубком кольцевых перфорированных коллекторов переменного поперечного сечения для равномерного перемешивания уходящих газов с движущимся в вытяжной башне градирни подогретым атмосферным воздухом и отвода их в атмосферу. Схема установки приведена на рис. 1.

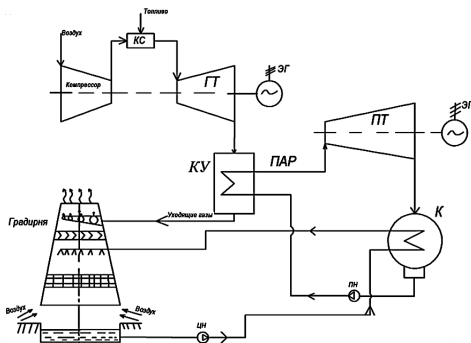


Рисунок 1 – Парогазовая установка с глубоким охлаждением газов ГТУ
КС-камера сгорания; ГТ- газовая турбина; КУ-котел –утилизатор; ПТ-
паровая турбина; К- конденсатор паровой турбины

Уходящие газы после котла-утилизатора поступают в градирню через распределительное устройство, установленное в вытяжной башне градирни и состоящее из двух кольцевых перфорированных коллекторов переменного поперечного сечения, соединенных между собой патрубком. Посредством распределительного устройства, уходящие газы равномерно перемешиваются с движущимся в вытяжной башне градирни подогретым атмосферным воздухом и вместе с ним отводятся в атмосферу и рассеиваются в ней.

При пропуске уходящих газов ГТУ температура циркуляционной воды на выходе из градирни будет определяться снижением влажности воздуха и увеличением самотяги градирни (дополнительное охлаждение за счет притока воздуха в результате увеличения тяги градирни).

Относительная влажность воздуха зависит от количества влаги находящейся в нем, последнее определяется парциальным давлением водяных паров в воздухе. Парциальное давления водяных паров при различной подаче уходящих газов определяется по формуле:

$$P = \frac{m_i \cdot R \cdot T_{см}}{V_{см}}; \text{кПа} \quad (1)$$

где m – молярная масса смеси, г/моль; R – универсальная газовая постоянная, 8,314 Дж/(моль·К); T – температура уходящих газов, К; V – молярный объем, м³/моль. Результаты расчета парциального давления при различной подаче уходящих газов в градирню представлены на рис.2.

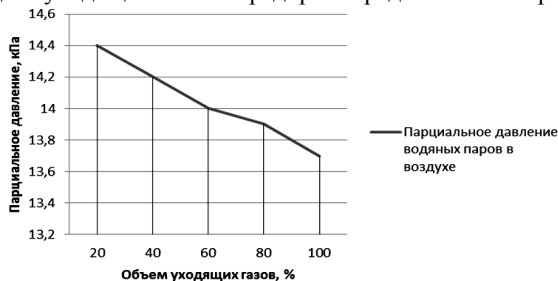


Рисунок 2 – Изменение парциального давления в зависимости от пропуска уходящих газов ГТУ через градирню.

В зависимости от изменения парциального давления водяных паров по i -д диаграмме определены относительная влажность воздуха и температура циркуляционной воды на выходе из градирни. Результаты представлены в табл.2.

Таблица 2 – Результаты изменения относительной влажности воздуха и температуры циркуляционной воды на выходе из градирни

| Относительный расход уходящих газов $V_{г}$, % | % | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |
|--|----|------|-------|-------|------|------|
| Температура на выходе из градирни, t _в , °C | °C | 28,6 | 27,7 | 26,9 | 26,1 | 25,5 |
| Относительная влажность воздуха, φ | % | 69,2 | 68,30 | 67,10 | 66,0 | 64,0 |

Эффективность работы блока ПГУ будет определяться снижением давления в конденсаторе, что создает более глубокий вакуум в самом конденсаторе и на последних ступенях паровой турбины. Давление в конденсаторе зависит главным образом от температуры охлаждающей воды. Расчетные зависимости давления в конденсаторе от температуры охлаждающей воды показаны на рис.3. Здесь же представлено изменение температуры на выходе и входе в градирню от расхода подаваемых газов ГТУ.

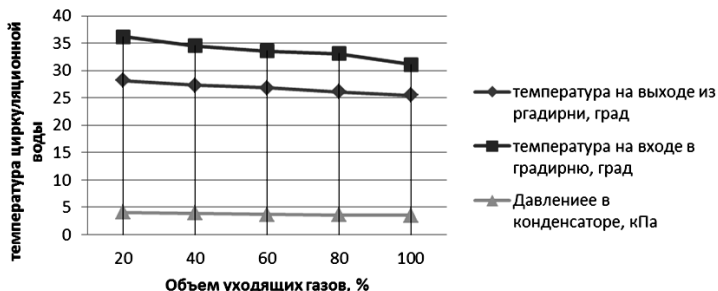


Рис. 3 – Изменение температуры циркуляционной воды и давления в конденсаторе в зависимости от расхода уходящих газов ГТУ через градирню

При пропуске уходящих газов через градирню изменяется самотяга градирни, которую можно определить по выражению согласно [5]

$$\Delta p = H_6 \cdot g \cdot (p_1 - p_2) \quad (2)$$

p_1 , p_2 – плотность воздуха начальная и конечная, кг/м³; H_6 – высота башни градирни, м; g – скорость свободного падения, м/с.

Результаты расчета самотяги градирни приведены на рис.4.

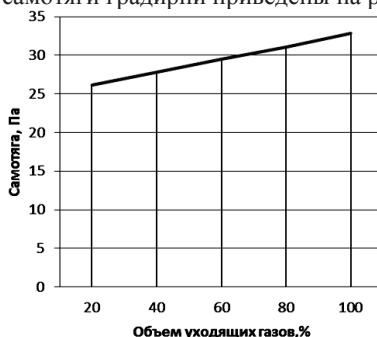


Рисунок 4 – Изменение самотяги градирни в зависимости от пропуска уходящих газов ГТУ через градирню

Результаты оценки эффективности глубокого охлаждения газов ГТУ пропуском через башенную градирню представлены в табл.3.

Таблица 3 – Расчет оценки эффективности глубокого охлаждения газов ГТУ пропуском через башенную градирню

| | | | | | | | |
|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Объем ух. Газов в %, $V_{г}$, | % | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |
| Относительная влажность воздуха, ϕ | % | 70,0 | 69,2 | 68,30 | 67,10 | 66,0 | 64,0 |
| Объем ух. газов, $G_{г}$, | кг/с | 0 | 126,3 | 252,6 | 378,9 | 505,2 | 631,5 |
| Парциальное давление водяных паров в воздухе, $P_{п}$, | кПа | 15 | 14,4 | 14,2 | 14,0 | 13,9 | 13,7 |
| Температура наружного воздуха, $t_{нв}$, | °С | 20,4 | 20,4 | 20,4 | 20,4 | 20,4 | 20,4 |
| Температура на выходе из градирни, $t_{2к}$, | °С | 29,4 | 28,2 | 27,3 | 26,8 | 26,1 | 25,5 |
| Температура на входе в градирню, $t_{1к}$ | °С | 37,42 | 36,2 | 34,5 | 33,6 | 33,1 | 31,1 |
| Самотяга градирни, Δp | Па | 24,81 | 26,12 | 27,8 | 29,51 | 31,1 | 32,8 |

Вывод: Анализ результатов показал, что с применением отвода дымовых газов ГТУ в объеме $G_{г}=631,5$ кг/с, относительно случая без применения отвода дымовых газов в вытяжную башню градирни, самотяга Δp возрастает на 30%, общий коэффициент сопротивления градирни возрастает на 17%, при этом температура циркуляционной воды $t_{2к}$ на выходе из градирни снижается на 6% с 31,4 до 27,1 °С, что обеспечивает более глубокий вакуум в конденсаторе паровой турбины парогазовой установки.

Применение отвода дымовых газов ГТУ в атмосферу через вытяжную башню градирни позволяет не только улучшить микроклимат на прилегающей территории (за счет снижения влажности воздуха от градирни), но и повысить эффективность работы блока за счет следующих факторов: снижается температура циркуляционной воды на выходе из градирни, за счет этого увеличивается вакуум в конденсаторе и соответственно возрастает прирост электрической мощности на последних ступенях паровой турбины. Предложенное использование градирни является альтернативным вариантом по установке дымовых труб на КЭС, так как позволяет избежать затрат на строительство и обслуживание дымовой трубы. В данном случае градирня может использоваться в качестве постоянной дымовой трубы или использоваться как резерв в особо неблагоприятных метеорологических условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цанев С. В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / С. В. Цанев, В. Д. Буров, А. Н. Ремезов.– М.: МЭИ, 2002.- 584 с.

2. Кудинов, А.А. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник/ А.А. Кудинов, С.К. Зиганшина. -М.:Машиностроение, 2011.-374с.

3. Березинец П.А., Васильев М.К. Анализ схем бинарных ПГУ на базе перспективной ГТУ//Теплоэнергетика.-2001.-№5.-С.18-30.

УДК 621.311

ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОВОГО ПРОМПЕРЕГРЕВА НА МОЩНЫХ БЛОКАХ ПГУ

Ростунцова Ирина Алексеевна, Батеев Никита Александрович

Саратовский государственный технический университет имени Ю.А.

Гагарина

410054 г. Саратов, ул. Политехническая, 77

Аннотация. Представлена схема и проведена оценка эффективности газового промперегрева пара на ПГУ-КЭС двухконтурного типа. Получено, что введение промперегрева приведет к увеличению мощности и КПД парогазовой установки в целом.

Annotation. The scheme is presented and the efficiency of gas superheating of steam at CCGT-IES of a two-circuit type is evaluated. It is obtained that the introduction of re-heating will lead to an increase in the power and efficiency of the combined-cycle plant as a whole.

Ключевые слова: парогазовая установка, газовый промперегрев пара, камера сгорания, кольцевой канал.

Перспективным направлением развития современной энергетики России является внедрение парогазовых технологий. Это связано с необходимостью строительства и внедрения более совершенных энергетических блоков в плане тепловой экономичности по сравнению с паротурбинными установками. В двухконтурных парогазовых установках (ПГУ) коэффициент полезного действия (КПД) по выработке электрической энергии достигает (45-50) % [1,2]. КПД трехконтурной ПГУ с промежуточным перегревом пара, в которой температура газов перед газовой турбиной находится на уровне 1450 °С, достигает 60 % [1]. Дальнейшее совершенствование парогазовых установок сопряжено с применением промежуточного перегрева пара, тем самым увеличивая КПД паровой турбины в составе ПГУ за счет подвода к пару дополнительной теплоты. Поэтому разработка схемы многоступенчатого перегрева пара на парогазовых установках КЭС двухконтурного типа в плане повышения КПД цикла является актуальной задачей.

Для повышения надёжности и экономичности работы ПГУ станции предлагается с наружной стороны камеры сгорания ГТУ разместить кольцевой

канал для промежуточного перегрева водяного пара. Промежуточный перегрев позволит повысить располагаемый теплоперепад пара в части низкого давления паровой турбины за счёт подвода к нему дополнительной теплоты, что увеличивает мощность турбины. Основное отличие от стандартного принципа работы ПГУ заключается в том, что отработавший пар на выходе из цилиндра высокого давления с пониженными значениями температуры и давления поступает по паропроводу в расположенный с наружной стороны камеры сгорания газотурбинной установки кольцевой канал, где перегревается до заданной температуры. Затем по трубопроводу перегретый пар направляется в цилиндр низкого давления, куда также подается генерируемый в котле-утилизаторе пар низкого давления. Принципиальная тепловая схема энергоблока ПГУ КЭС 170 МВт с газовым перегревом пара представлена на рис.1.

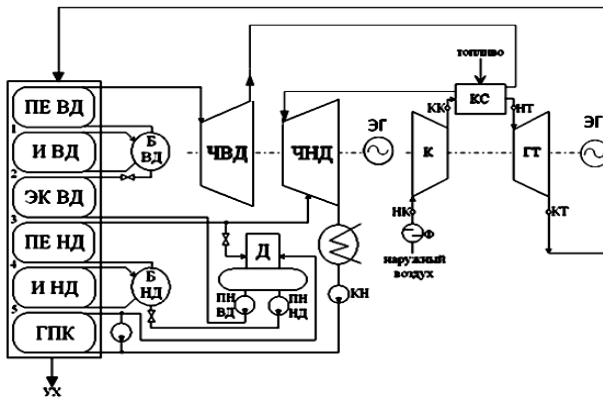


Рис.1. Принципиальная тепловая схема энергоблока ПГУ с газовым перегревом пара

ПЕ ВД, ПЕ НД – пароперегреватель высокого и низкого давлений; К – конденсатор; И ВД, И НД – испаритель высокого и низкого давлений; ЭГ – электрический генератор; ЭК ВД – экономайзер высокого давления; ГПК – газовый подогреватель конденсата; Б ВД, Б НД – барабан высокого и низкого давлений; Г – электрогенератор; ПН ВД, ПН НД – питательный насос высокого и низкого давлений; ГТ – газовая турбина; ЧВД, ЧНД – часть высокого и низкого давлений; Д – деаэратор; КН – конденсатный насос; К – воздушный компрессор; Ф – воздушный фильтр; КС – камера сгорания топлива

Аналогом камеры сгорания используемой для промперегрева является камера с кольцевым каналом [3] рис. 2.

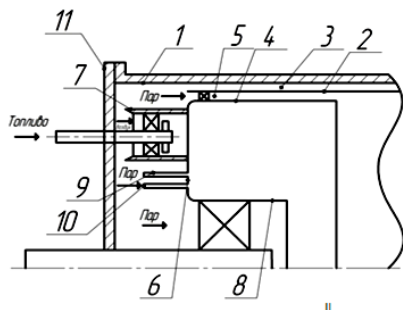


Рис. 2. Конструктивные особенности камеры сгорания ГТУ

Как видно из рисунка камера сгорания содержит цилиндрический корпус 1, соосную с ним жаровую трубу 2, образующих проточную полость для подвода воздуха 3, цилиндрический экран 4, расположенный соосно внутри жаровой трубы и образующий с ней кольцевой канал 5 для прохода пара, фронтное устройство 6, периферийные горелочные устройства 7, расположенные равномерно по окружности во фронтном устройстве, центральное горелочное 8, расположенную на оси жаровой трубы и задвинутую в жаровую трубу глубже, чем периферийные горелочные устройства, охлаждающие глушители 9, установленные на фронтном устройстве, выполненные в виде полых тел произвольного поперечного сечения, направленных открытым торцом к зоне горения, при этом противоположные торцы охлаждающих глушителей закрыты крышками 10, крышку камеры сгорания 11, закрывающую корпус камеры сгорания с торца.

Для оценки эффективности ПГУ с вводом газового промперегрева составлен материально тепловой баланс камеры сгорания (рис.3).

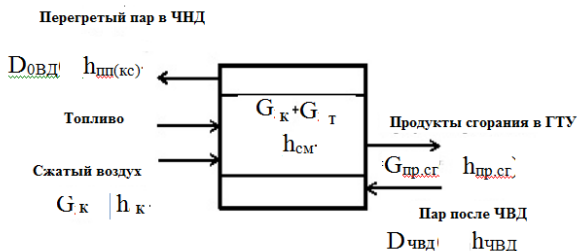


Рис. 3. Баланс камеры сгорания с введением газового промперегрева пара

$$D_{0ВД} (h_{пп(кс)} - h_{чвд}) = G_{пр.сг} \cdot (h_{см} - h_{пр.сг}), \quad (1)$$

где $D_{0ВД}$ - расход пара отбираемый из ЧВД, кг/с; $h_{пп(кс)}$ – энтальпия перегретого пара, кДж/кг; $h_{чвд}$ – энтальпия пара, отбираемого из ЧВД, кДж/кг; $G_{пр.сг}$ – расход продуктов сгорания подаваемый в ГТ, кг/с; $h_{см}$ – энтальпия топливо-

воздушной смеси, кДж/кг; $h_{пр.сг}$ – энтальпия продуктов сгорания, кДж/кг; $h_{см} = f(t_{см}) = 34056,3$ кДж/кг (по таблице энтальпий продуктов сгорания).

Из баланса определяется энтальпия продуктов сгорания на выходе из камеры сгорания:

$$h_{пр.сг} = (D_{0ВД} \cdot (h_{пл(кс)} - h_{цВД}) - G_{пр.сг} h_{см}) / G_{пр.сг} \quad (2)$$

Показатели эффективности парогазовой установки с газовым промежуточным перегревом (ГПП) приведены в табл.1.

Таблица 1. Показатели эффективности парогазовой установки до и после введения газового перегревателя пара

| Показатели | Размерность | Без ГПП (данные из расчета тепловой схемы основной части) | С введением ГПП |
|---|-------------|---|-----------------|
| КПД парогазовой установки, $\eta_{ПГУ}$ | % | 49,06 | 53,96 |
| Электрическая мощность ПГУ, $N_{ПГУ}$ | МВт | 165,9 | 175,93 |
| КПД паротурбиной установки, $\eta_{ПТУ}$ | % | 35,48 | 38,95 |
| Электрическая мощность ПТУ, $N_{ПТУ}$ | МВт | 55,11 | 62,76 |
| КПД газотурбиной установки, $\eta_{ГТУ}$ | % | 35,85 | 31,95 |
| Электрическая мощность ГТУ, $N_{ГТУ}$ | МВт | 110,8 | 113,21 |
| Потребляемая мощность компрессором, N_K | МВт | 97,53 | 144,96 |
| Расход продуктов сгорания, $G_{вх.г}$ | кг/с | 257,97 | 376,45 |
| Температура продуктов сгорания на входе в ГТ, $t_{нт}$ | °С | 1210 | 1016 |
| Температура продуктов сгорания на выходе из ГТ, t_4 | °С | 625,8 | 507,6 |
| Работа расширения в ГТ, $L_{ГТ}$ | кДж/кг | 838,95 | 708,12 |
| Работа сжатия в компрессоре L_K | кДж/кг | 361,07 | 361,07 |
| Работа газотурбинного цикла, $L_{ГТУ}$ | кДж/кг | 423,89 | 302,04 |
| Расход воздуха в компрессор, G_K | кг/с | 280,61 | 413 |
| Расход воздуха на входе в камеру сгорания, $G_{кс}$ | кг/с | 251,15 | 369,63 |
| Подводимое количество тепла в камере сгорания, $q_{кс}$ | кДж/кг | 1216,16 | 945,45 |

Изменение КПД и электрической мощности ПГУ без промперегрева (вариант 1) и при внедрении газового промперегрева (вариант 2) показано на рис.4.

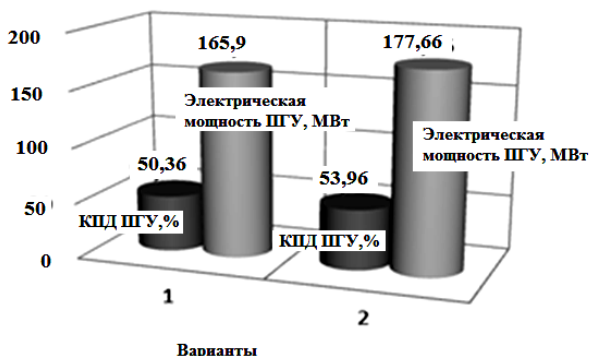


Рис.4. Изменение КПД и электрической мощности ГТУ

В результате введения газового перегрева пара температура на входе в газовую турбину снизится, что приведет к снижению КПД ГТУ, но при неизменном расходе газа будет наблюдаться увеличение мощности ГТУ, КПД и мощности ПТУ. Это в свою очередь приведет к увеличению мощности и КПД парогазовой установки в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цанев С. В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / С. В. Цанев, В. Д. Буров, А. Н. Ремезов. – М.: МЭИ, 2002. - 584 с.
2. Первый отечественный одновальный парогазовый энергоблок ПГУ-170/ О. Н. Фаворский, В. И. Длугосельский, А.С. Земцов., Трушин С. Г. // Теплоэнергетика.-2001. -№5. - С. 2-7.
3. Патент №2468297. Система впрыска топлива в камеру сгорания газотурбинного двигателя, камера сгорания, оснащенная такой системой, и газотурбинный двигатель. публикация патента: 27.11.2012 Авторы: САНДЕЛИ Дени (FR), ДЕЗОЛЬТИ Мишель (FR), БОДУЭН Кристоф (FR)

РАСЧЕТ НАПРАВЛЕНИЯ ОСЕЙ ДЕФОРМАЦИЙ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА

Сабилов Айдар Рамазанович, Хусаинов Рустем Мухаметович

Набережночелнинский институт (филиал) Казанского федерального университета, 423812 г. Набережные Челны, пр. Мира, д. 68/19

Аннотация. В статье исследованы вопросы проявления статических упругих деформаций при обработке на станках фрезерного типа. Рассмотрен способ определения главных осей деформаций.

Ключевые слова: конечно-элементный анализ, жесткость, металлорежущие станки.

CALCULATION OF THE DIRECTION OF THE STRAIN AXES IN THE WORKING AREA OF A VERTICAL MILLING MACHINE

Annotation. The article studies the issues of static elastic deformations that appear during processing on milling type machines. The method of determining the principal axes of strain is observed.

Key words: finite element analysis, stiffness, cutting milling machines.

Требования к повышению точности изготавливаемых деталей предполагают учет всех факторов, которые влияют на точность обработки [1,2]. В условиях обработки резанием одним из наиболее важных рассматриваемых факторов, является жесткость. В реальных условиях обработки необходимо рассматривать жесткость всей технологической системы, в которую входят станок, приспособление, режущий и вспомогательный инструменты, заготовка. Традиционными путями повышения жесткости являются повышение собственной жесткости деталей технологической системы и жесткости стыков между ними. Между тем, на жесткость всего станка, то есть на восприятие сил резания и сопротивление деформации от этих сил, влияет не только собственная и контактная жесткость его элементов, но и геометрические характеристики компоновки технологической системы. Эти характеристики можно оценить осями жесткости или, выражаясь терминами теории сопротивления материалов, осями главных деформаций. Известно [3], что в каждой точке тела имеются три взаимно перпендикулярных направления, по которым линейные деформации имеют экстремальные значения. Указанные направления называют главными осями деформации, а линейные деформации вдоль главных направлений - главными деформациями. Наиболее важное значение имеют ось максимальной жесткости, в направлении которой упругие деформации наименьшие, и ось минимальной жесткости, в направлении которой упругие деформации наибольшие. Важность этих осей продиктована следующими соображениями [4]:

1. Если построить компоновку технологической системы так, чтобы равнодействующая сил резания была равна или близка оси максимальной жесткости, то в этом случае деформации будут минимальными, следовательно, погрешности обработки вызванные упругими деформациями, также минимизируются.

2. Оси жесткости главных деформаций имеют такое свойство, что если равнодействующая сил проходит вдоль них, то это вызывает только линейные деформации тела вдоль этих осей, не вызывая угловых деформаций. Это также минимизирует упругие деформации.

3. Приближение равнодействующей силы резания к осям жесткости повышает динамическую устойчивость технологической системы.

При исследовании жесткости станков, в основном, применяется экспериментальный подход, выполняемый путем натурального или вычислительного эксперимента. Основным методом эксперимента является «пеленгация» положения центра и осей жесткости путем множества измерений при изменении угла действия нагружающей силы. Всё это требует больших затрат времени, а в первом случае ещё и материальных затрат. В данной статье предлагается расчётный подход к определению положения осей жесткости. Как известно [3], при любом нагружении тела линейные и угловые деформации этого тела образуют тензор деформации:

$$T_\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & \varepsilon_{13} \\ \varepsilon_{21} & \varepsilon_{22} & \varepsilon_{23} \\ \varepsilon_{31} & \varepsilon_{32} & \varepsilon_{33} \end{bmatrix} \quad (1),$$

где ε_{ij} – линейные и угловые деформации.

Значения главных деформаций ε_i можно найти из решения кубического уравнения [3]:

$$\varepsilon^3 - I_1\varepsilon^2 + I_2\varepsilon + I_3 = 0 \quad (2),$$

где I_i – инварианты тензора деформаций (1).

Компоненты тензора деформаций (1) можно найти экспериментально, при однократном нагружении, или конечно-элементным анализом технологической системы. В данном исследовании была построена трехмерная модель технологической системы, которая включала в себя несущую систему станка, режущий и вспомогательный инструменты, приспособление, заготовку. Компоновка технологической системы соответствовала случаю фрезерования внутренней полости [5]. Путем выполнения расчёта в модуле «Расширенная симуляция» Siemens NX были определены линейные и угловые деформации (рис. 1). Решением уравнения (2) были определены значения главных деформаций:

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} -0,003 \\ 0,0002 \\ 0,002 \end{bmatrix} \quad (3).$$

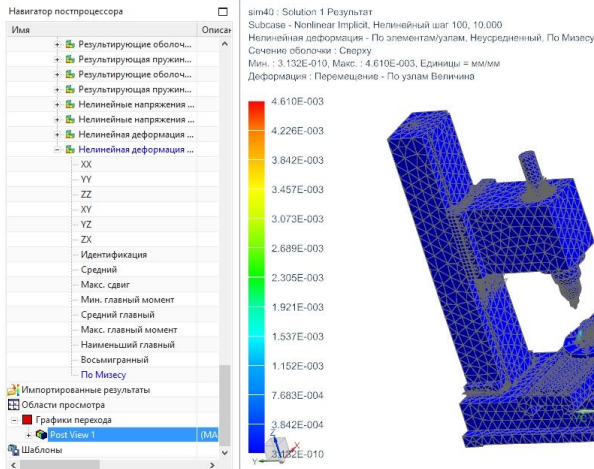


Рисунок 1 – Деформации в технологической системе

Компонент ε_1 соответствует главной наибольшей деформации, его направление – это ось минимальной жесткости; компонент ε_2 соответствует наименьшей главной деформации, его направление – это ось максимальной жесткости.

Направления главных осей деформаций можно определить расчетом направляющих косинусов l_i, m_i, n_i при совместном решении системы уравнений [6]:

$$\begin{cases} (\varepsilon_i - \varepsilon_{11})l_i - \varepsilon_{12}m_i - \varepsilon_{13}n_i = 0 \\ -\varepsilon_{12}l_i + (\varepsilon_i - \varepsilon_{22})m_i - \varepsilon_{23}n_i = 0 \\ -\varepsilon_{13}l_i + \varepsilon_{23}m_i - (\varepsilon_i - \varepsilon_{33})n_i = 0 \\ l_i^2 + m_i^2 + n_i^2 = 1 \end{cases} \quad (4).$$

Согласно рассчитанным значениям были построены векторы, образующие оси жесткости (рис. 2, режущий и вспомогательный инструменты условно не показаны). Одна из осей, вдоль которой наибольшие деформации – это ось минимальной жесткости j_{min} , вторая - вдоль которой наименьшие деформации – это ось максимальной жесткости j_{max} . Можно отметить, что положение главных осей деформации соответствуют результатам ранее выполненного вычислительного эксперимента.

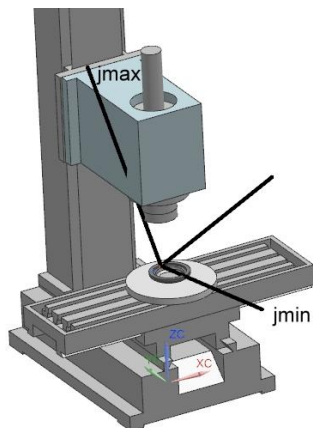


Рисунок 2 – Оси жесткости

Таким образом, применение предлагаемого подхода позволяет с минимальной трудоемкостью определить положение осей жесткости. Используя этот результат можно так подобрать схему резания или, наоборот, так изменить компоновку технологической системы, чтобы приблизить равнодействующую сил резания к оси максимальной жесткости, тем самым уменьшив упругие деформации и повысив точность обработки.

Литература.

1. Ирзаев Г.Х. Модель управления технологичностью изделий на промышленном предприятии // Экономика и менеджмент систем управления. 2015. Т. 1. № 15. С. 50-57.
2. Говорков А.С., Ахатов Р.Х. Анализ технологичности изделия авиационной техники на основе информационного образа изделия // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 6-1. С. 285-292.
3. Динамика и прочность машин. Теория механизмов и машин. Т. 1-3. В 2-х кн. Кн. 1 / К.С. Колесников, Д.А. Александров, В.К. Асташев и др.; Под общ. ред. К.С. Колесникова. – М. Машиностроение, 1994. - 534 с.
4. Кудинов В.А. Динамика станков. – М.: Машиностроение, 1967. – 359 с.
5. Рябов Е.А., Юрасов С.Ю., Хисамудинов Р.М. Обработка внутреннего контура трохойдальным фрезерованием концевыми фрезами // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы - 2016 (МНТК "ИМТОМ-2016") Материалы Международной научно-технической конференции. 2016. С. 150-154.
6. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. – М.: Наука. 1975. - 576 с.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НОВОЙ ОПОРЫ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

канд. техн. наук, доц., Сабитов Линар Салихзанович^{1,2},
док. техн. наук, профессор Ильин Владимир Кузьмич¹,
док. техн. наук, профессор Кашапов Наиль Фаикович²,
аспирант Хамидуллин Искандер Наилович¹,

¹*Казанский государственный энергетический университет, г. Казань;*

²*Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань;*

Рассмотрим возможность изменения того или иного параметра стойки для повышения надежности функционирования опоры.

Геометрические параметры стойки опоры определяются диаметром в комле и в верхней части, количеством граней. Увеличение диаметра в комле стойки повышает прочность. Однако ограничивающим фактором является значительное увеличение расхода металла.

Возможность изменения точки нагрузки для оптимизации прочность стойки опоры так же ограничена требованиями нормативно-технической документации по соблюдению габаритов воздушной линии.

Учитывая вышесказанное верно утверждение, что толщина стенки стойки является наиболее оптимальным параметром, воздействуя на который возможно обеспечить необходимой уровень надежности опоры воздушной линии электропередачи. Подтверждением данного утверждения являются результаты математического моделирования определяющую толщину стенки стойки, как основной фактор влияния на НДС конструкций стальной многогранной опоры, что говорит не только о необходимости тщательного контроля этого параметра при их изготовлении, но и дает возможность оптимизации конструкции для увеличения прочности и надежности.

Так как опору ВЛ возможно рассматривать в качестве стрелы с жесткой заделкой, то напряженно-деформированное состояние (НДС) для нее будет максимальной в точке заделки. Проведенные расчеты [3] показали существенную разницу НДС в пределах конструкции стальной многогранной опоры.

Для оптимизации стальной многогранной опоры ВЛ 6-10 кВ оптимальной является метод топологической оптимизации. Подробно данный метод рассмотрен в [1]. В отличие от оптимизации формы и размеров силовых элементов топологическая оптимизация позволяет найти оптимальное распределение материала в заданной проектной области при определенных нагрузках и граничных условиях. Цель топологической оптимизации состоит в определении лучшего использования материала для исследуемого объекта или конструкции, так, чтобы целевая функция (например, общая жесткость или собственная частота) имели максимальное или минимальное значение при

наличии существующих ограничений (таких, например, как уменьшение объема).

Для опоры ВЛ 6-10 кВ применим следующий алгоритм оптимизации:

Заданная проектная опора подробно разбивается на конечные элементы;

Определяются критерии процесса оптимизации. Оптимизируемым параметром, как уже сказано выше, целесообразно выбрать толщину стенки стальной многогранной опоры. Граничным условием для опоры, в качестве стержня с жесткой заделкой будет является максимальный расчетный изгибающий момент. В качестве второго критерия целесообразно принять требование [2] по максимальному отклонению верхней части опоры от нормальной оси.

Определяется напряженное состояние на основе конечно-элементного статического расчета. Действующие нагрузки на опору ВЛ 6-10 кВ должны приниматься с учетом климатического района эксплуатации ВЛ 6-10 кВ.

Определяются перегруженности в элементах и удаляются наиболее недогруженные элементы. В качестве критерия перегруженности целесообразно принять критерий перегруженности по Мизесу, согласно которому опора ВЛ будет повреждаться в местах, где напряжение по Мизесу становится равным предельному напряжению. В качестве предельного напряжения принимаем предел текучести стали изготовления опоры.

Вычисляется отношение минимальной перегруженности к максимальной перегруженности в конструкции. Процесс оптимизации продолжается до достижения итерации, когда напряжение по мизесу будет равна для всех элементов, либо отношение напряжений будет в границах изначально заданного интервала. В противном случае переходим к шагу №2.

Выполнение данного алгоритма расчетов является крайне трудоемким, в связи, чем целесообразно его выполнять на ЭВМ использованием специализированных программного обеспечения, позволяющих проводить соответствующих расчетов методом конечно-элементного (МКЭ) анализа. Для расчетов в рамках данной работы была выбрана программа «Ansys Workbench 18», используемая для проведения инженерных и научных расчетов по всему миру.

Для примера применения алгоритма рассмотрим возможность оптимизации опоры ВЛ 6-10 кВ ПМ10-1.

Граничными условиями для оптимизации будут являться расчетная нагрузка на опору ВЛ G , и прочность опоры– R . Для упрощения данные два

условия целесообразно заменить коэффициентом запаса прочности $K_{zn} = \frac{R}{G}$.

Параметры для оптимизации конструкции опоры ВЛ ПМ10-1:

Нагрузка III район по гололеду, III район по ветру. Данные района характерны для территории Республики Татарстан и центральной части России. Расчетный изгибающий момент на стойку опоры $M = 39\text{кН}\cdot\text{м}$;

Стандартная опора выполнена из стальной многогранной стойки с толщиной стенки стали (марки СТ440) 5 мм.

Опора не должна прогибаться на величину большую $1/100$ рабочей части стойки, равной $L_{act} = L_{tot} - L_{ground} = 9$ м в соответствии с требованиями [2]. Таким образом, допустимый прогиб $f_{доп}$ составляет 0,09 м.

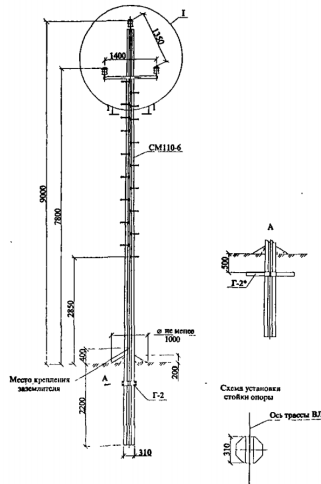


Рис. 1. Проектный чертеж промежуточной стальной многогранной опоры

Параметр оптимизации: толщина стенки стойки: находятся в диапазоне от 1.5 до 5 мм.

Нагружение осуществляется с помощью приложения силы $P = M / L_{act} = 4.3$ кН, приложенной к верхней (top) границе стойки.

Моделирование условия «вкопанной в землю» части стойки моделируются путем наложения ряда граничных условий:

Нижняя (bottom) граница (площадь) стойки закрепляется от перемещений в направлении длины стойки (ось Z глобальной системы координат)

Грани внешнего восьмигранника на участке длины стойки от 0 до L_{ground} освобождаются от перемещений в направлениях перпендикулярным к плоскостям граней (4 грани закрепляются в глобальной и 4 в локальной системах координат).

Граничные условия и условия нагружения показаны на рисунке 2.

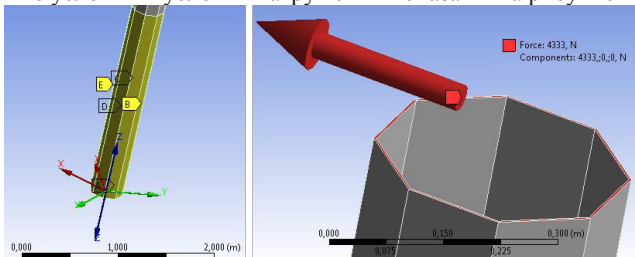


Рис. 2. Граничные условия и условия нагружения

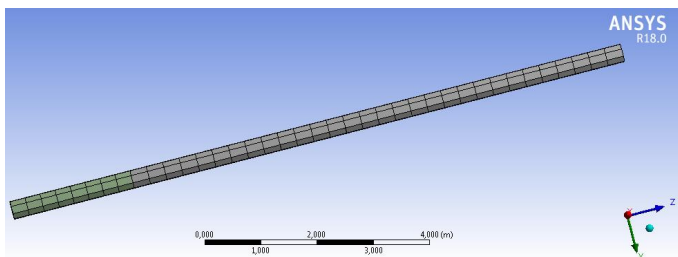


Рис.3. Общий вид КЭ модели

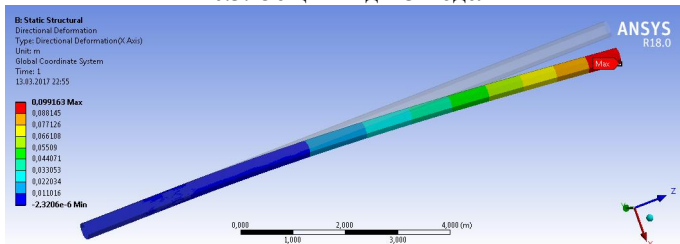


Рис.4 Распределение перемещений в направлении действия силы (ось X глобальной системы координат)

Оптимизация осуществлялась с помощью встроенного в ANSYS модуля Optimization, реализующего метод Screening optimization, в ходе которого выполняется расчет 100 вариантов варьируемых параметров, по итогу которого выбираются 3 лучших результата.

В данном случае после проведения первого расчета (первых 100 случаев), было получено только 2 варианта, удовлетворяющих условию допускаемого прогиба. Полученные варианты представлены на рисунке 5.

| Table of Schematic C2: Optimization , Candidate Points | | | | | | | | |
|--|-----------|-------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|--|--------------------------|
| | A | B | C | D | E | F | G | H |
| 1 | | | P2 - Thickness_top (mm) | | P1 - Thickness_bottom (mm) | | P4 - Directional Deformation Maximum (m) | |
| 2 | Reference | Name | Parameter Value | Variation from Reference | Parameter Value | Variation from Reference | Parameter Value | Variation from Reference |
| 3 | ○ | Candidate Point 1 | ✖ 4,5625 | -5,78% | ✖ 4,7167 | -4,43% | ⇒ 0,089197 | 5,44% |
| 4 | ● | Candidate Point 2 | ✖ 4,8425 | 0,00% | ✖ 4,9355 | 0,00% | ⇒ 0,084592 | 0,00% |

Рис. 5 – Варианты параметров толщины стенки стойки, полученные в ходе первой оптимизации

Как видно из рисунка 5 толщина стенки на нижней (bottom) границе стойки принимает значение 4.7167 мм, тогда как толщина стойки на верхней (top) границе стойки принимает значение 4.5625 мм. Значение прогиба в данном случае составляет 0.089197 мм. Критерии оптимизации выполнены.

Для проверки полученных результатов есть возможность задания дополнительной объектной функции – параметр объема. Для данного варианта варьируемые параметры был уменьшен диапазон изменения параметров толщины. Так толщина стенки на нижней (bottom) границе стойки варьируется

от 4 до 5 мм, а на верхней (top) границе стойки от 3 до 5 мм. Результаты такой оптимизации представлены на рисунке 6.

| Table of Schematic D2: Optimizer, Candidate Points | | | | | | | | | |
|--|-----------|-------------------|--------------------------|----------------------------|--|----------------------------|--------------------------|-----------------|--------------------------|
| A | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
| 1 | Reference | Name | P2 - Thickness_top (mm) | P1 - Thickness_bottom (mm) | P4 - Directional Deformation Maximum (m) | P5 - Geometry Volume (m^3) | | | |
| 2 | | Parameter Value | Variation from Reference | Parameter Value | Variation from Reference | Parameter Value | Variation from Reference | Parameter Value | Variation from Reference |
| 3 | ☉ | Candidate Point 1 | X 4,89 | X 4,816 | 0,12% | X 0,054721 | 1,33% | | |
| 4 | ☉ | Candidate Point 2 | XX 4,55 | X 4,7003 | 0,00% | X 0,054003 | 0,00% | | |
| 5 | ☉ | Candidate Point 3 | XX 4,79 | X 4,6066 | -1,99% | X 0,054869 | 1,60% | | |

Рис. 6– Варианты параметров толщины стенки стойки, полученные в ходе второй оптимизации

Как видно из рисунка 6 наименьшим из представленных (3х лучших) объемом обладает Candidate point 2: толщина стенки на нижней (bottom) границе стойки принимает значение 4.7003 мм, тогда как толщина стойки на верхней (top) границе стойки принимает значение 4.55 мм. Значение прогиба в данном случае составляет 0.089465 мм. Критерии оптимизации выполнены.

Можно легко заметить, что наилучший варианты по двух оптимизациям практически совпадают в пределах двух знаков после запятой, что может свидетельствовать о удовлетворительной сходимости оптимизационного расчета. Результаты расчетов представим в виде графика

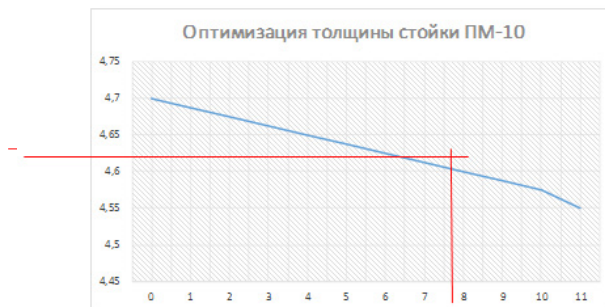


Рис. 7. Диаграмма оптимизации толщины стенки опоры ВЛ 6-10 кВ ПМ-10

Как видно из графика при заданных условиях функционирования толщина стенки стойки в 5 мм по всей длине стойки является избыточным. В целях оптимизации используемой стали целесообразно использовать стойку с толщиной стали в 4,7-4,55 мм.

Выводы:

Данный алгоритм позволяет на стадии проектирования определить наиболее оптимальный вариант реализации опоры ВЛ при заданном коэффициенте прочности.

Практическое применение предложенного метода может быть применимо разработанным способ изготовления СМО включающий раскрой стального листа с образованием заготовки в виде вытянутого прямоугольника или

трапеции, гибку заготовки с образованием граней и сварку свободных кромок по длине с созданием замкнутого сечения, отличающийся тем, что заготовку по длине образуют из стальных листов разной толщины t_1, t_2 , уменьшающейся к вершине опоры, при этом листы между собой соединяют стыковой сваркой и диафрагмами жесткости в виде пластин установленные на ребро между гранями поперечного сечения опоры [4].

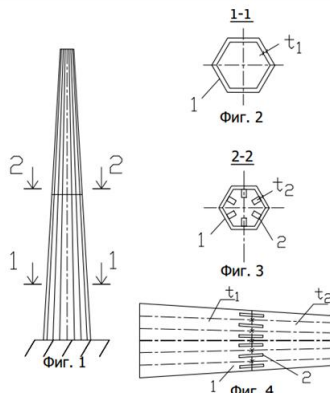


Рис.7. Способ изготовления стойки опоры ВЛ (Патент РФ №2556603)

С использованием изложенной методики изготовления была спроектирована стальная многогранная опора из двух частей с толщиной стенки 4,7 и 4,6 мм высотой 8 и 3 метра соответственно. Расход металла при этом уменьшился 6,2 %.

Данное решение применимо для конструирования стальных опор различного назначения в виду своей возможности оптимизации конструкции на основе действующих нагрузок и климатического воздействия. Сочетая соединение секций, изготовленных из стали различной толщины, возможно оптимизировать конструкцию уменьшив себестоимость и увеличив экономию стали, но при этом обеспечив требуемую прочность. Для опор высокого напряжения оптимизация опоры позволяет уменьшить расход стали до 15% [4].

Литература:

1. Лионозова М. В. Риск менеджмент и использование его инструментов в энергетике». В сборнике «Управление инвестициями». - Тула, 2008. - С. 44-51.
2. Дроновский П. Л. Экспертные методы оценки рисков в энергетике. В сборнике « Проблемы инвестирования в энергетикку России». - Саратов, 2009.- С. 14-22.
3. ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения.
4. Патент РФ №2556603 Способ изготовления стальной опоры многогранного сечения / Л.С. Сабитов, И.Л. Кузнецов, И.Н. Хамидуллин, опублик.10.07.2015. Бюл.№19 -бс.

СОЗДАНИЕ ЛОГИЧЕСКОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ПО РЕМОНТУ И ОБСЛУЖИВАНИЮ ТЯЖЕЛОЙ ТЕХНИКИ

Магистрант Садыков Айзат Маратович

Карагандинский государственный технический университет, euza1994@mail.ru;
PhD Юрченко Василий Викторович, juvv76@mail.ru;
к.т.н. Никонова Татьяна Юрьевна, nitka82@list.ru.

В статье авторами рассмотрено влияние внедрения информационных интегрированных систем на предприятии, обоснованы главные преимущества использования этих систем и какие затраты необходимы для достижения автоматизации управления единым информационным пространством. Были определены плюсы использования автоматизации процессов технологического обслуживания и ремонта после их внедрения на предприятии. В завершении статьи были описаны составляющие элементы успешного внедрения информационных интегрированных систем.

In the article, the authors examined the impact of the implementation of information integrated systems in the enterprise, substantiates the main advantages of using these systems and what costs are required to achieve automation of the management of a single information space. The advantages of using the automation of the processes of technological maintenance and repair after their introduction at the enterprise were determined. At the end of the article, the elements of the successful implementation of information integrated systems were described.

Ключевые слова: техника, организация, управление, ремонт, обслуживание.

Тяжелые транспортные средства относятся к тяжелой технике, которые специально предназначены для выполнения строительных задач, которые чаще всего связаны с земляными работами.

Они также известны как, строительное оборудование, строительные машины, земляные тягачи, инженерные машины, или просто оборудование. Как правило, они включают пять систем оборудования: орудие, тягу, назначение, силовую установку, контроль и информацию [1].

По мере развития методов и средств технической диагностики стратегия технического обслуживания и ремонта тяжелой техники должна в большей степени ориентироваться на их текущее состояние.

Под организацией производства по ремонту и обслуживанию понимается совокупность действий, ведущих к устойчивому взаимодействию всех элементов системы обеспечения работоспособности машин, а управление производством по ремонту и обслуживанию выступает как функция этой системы, обеспечивающая совершенствование ее структуры для достижения поставленных целей. Т.е., организация и управление - это основа

управленческих и производственных механизмов, обеспечивающих устойчивое функционирование системы обеспечения работоспособности машин [2].

Ввиду того, что своевременно полученная и актуальная информация имеет такое большое значение в эффективном управлении финансово-хозяйственной деятельностью, на любом предприятии должна быть создана и внедрена система автоматизации управления единым информационным пространством, в использовании которой есть ряд плюсов:

- сокращение допущенных ошибок, которые могут быть выявлены на любом уровне управления.
- решения принимаются более оперативно за счёт более быстрого получения и обмена достоверной информации между всеми сотрудниками предприятия.

Для достижения вышеперечисленных факторов необходимы немалые как временные, так и денежные затраты, которые уходят на технологическое и техническое оснащение для внедрения информационных интегрированных систем. Прежде всего, необходимо составить план внедрения системы и обсудить ее с компаниями, занимающимися внедрением подобных систем, а также приобрести необходимое программное обеспечение, обучить персонал и т.д.

Компании, специализирующиеся на внедрении информационных интегрированных систем, обещают после внедрения автоматизации процессов по технологическому обслуживанию и ремонту ряд плюсов, представленных ниже:

- увеличение эффективности обслуживания на 5-10%;
- сокращение отклонений от графиков на 5-10%;
- сокращение непредвиденных закупок на 15-20%;
- ускорение циклов плановых ремонтов на 10-20%;
- сокращение простоев оборудования на 5-10%.

В качестве автоматизации процессов технологического обслуживания и ремонта авторами рассматривается вариант создания логической математической модели, которая подразумевает под собой программу, в которой согласно календарному плану планово-предупредительных работ предприятия для каждой определенной спецтехники определяется рабочее место, а оно в свою очередь определяется средствами технологического оснащения.

Средства технологического оснащения, называемые системой СПИД (станок, приспособление, инструмент, деталь) необходимы, как и для технологической подготовки производства, так и для обслуживания и ремонта тяжелой техники.

В программе будут определяться рабочие места для выполнения необходимых работ по обслуживанию и ремонту тяжелой техники в зависимости от величины площади необходимой для каждой спецтехники относительно размеров самого предприятия и методов организации производства по техническому обслуживанию и эксплуатационному ремонту.

Наиболее широко применяют такие методы, как:

- агрегатно-участковый;
- комплексных бригад;
- специализированных бригад.

У каждого метода есть свои плюсы и минусы, но больше всего достоинств имеет первый метод.

Также в программе планируется систематизировать всю необходимую техническую характеристику спецтехники, которая будет являться входной информацией. В качестве промежуточной информации будет определена реляционная база данных по технологии ремонта, технологического процесса ремонта, включающего в себя разборку, дефектовку, выявления списка деталей необходимых для покупки и изготовления и т.д.

Для проверки корректности полученных результатов программа подвергается испытанию введением вводной информации, запуском программы и получением определенных результатов, таких как:

- нет результата;
- неправильный результат;
- правильный результат.

По этим результатам программа подвергается экспертизе. Эффективность программы оценивается экспертами, вводятся корректировки на определенных этапах функционирования программы при наличии неточных или ошибочных результатов.

Таким образом, использование информационных интегрированных систем значительно повышает эффективность управления финансово-хозяйственной деятельностью, но требует со своей стороны немалых финансовых и временных затрат на необходимое техническое и технологическое оснащение.

Наличие автоматизации управления единым информационным пространством на предприятии ремонта - это одна из главных составляющих предприятия, претендующего быть лидирующим и успешно развитым предприятием в своей сфере.

Результатом успешного внедрения информационной интегрированной системы должна быть тесная взаимосвязь между всеми отделами предприятия, которые оперативно обмениваются достоверной и актуальной информацией между собой, результатом чего служат принимаемые в более короткие сроки правильные решения. То есть, все отделы должны работать как один налаженный механизм с минимально допускаемыми ошибками и высокой эффективной деятельностью.

Список использованной литературы

1.Тяжелая техника. Масштабные модели тяжелой техники. – Режим доступа <http://qps.ru/НyfoP>.

2.Совершенствование организации производства по техническому обслуживанию и ремонту парков транспортных и технологических машин. – Режим доступа <http://qps.ru/zTd3n>.

3.Никонова Т.Ю., Юрченко В.В., Садыков А. М. Применение автоматизации систем управления единым информационным пространством на предприятиях Республики Казахстан – Научно-технический журнал «Автоматика и информатика», Карагандинский государственный технический университет, 2017(№1) – С. 52-55

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ РАСЧЕТ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОПЕРАЦИЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Сафаров Д.Т., Глинина Г.Ф.

НЧИ К(П)ФУ, 423812 г. Набережные Челны пр. Мира 68/19

Рассмотрен пример расчета и оптимизации потребления электроэнергии при проектировании операций обработки деталей на станках с ЧПУ на основе дифференциальной модели содержания процесса их изготовления.

An example of calculation and optimization of electric power consumption is considered when designing the operations of processing parts on CNC machines on the basis of a differential model of the content of the process of their manufacture.

Ключевые слова: Потребление электроэнергии, токарная операция, структура операции, модель содержания, станок с ЧПУ.

Жесткие условия конкуренции предприятий за большую долю рынка при реализации своей продукции требуют одновременного решения нескольких задач: повышение качества выпускаемой продукции, снижение потребления ресурсов при изготовлении изделий, снижение количества отходов в отдельных операциях формообразования.

Рассматриваемый в статье пример расчета потребления электроэнергии выполнен на основе методики функционально-структурной дифференциации содержания операции и производственного задания [1].

Методика рассматривает выполнение производственного задания, в виде непрерывной взаимосвязанной цепочки иерархических вложенных друг в друга процессов создания отдельных элементов детали: наладочного и настроечного циклов, операции, установка, позиции, перехода, рабочих ходов. Она показала свою эффективность для описания последовательности выполнения структурно сложных технологических операций.

Деталь «ротор трещотки» является основным узлом динамометрического ключа и обрабатывается нескольких технологических операциях. Наиболее энергоемкой операцией по ее технологическому маршруту является черновая токарная обработка на токарном станке с ЧПУ мод. 16A20Ф3 (рис. 1).

На первом этапе выполняется построение иерархической структуры операции (рис. 2), состоящей из двух последовательных установов. В процессе обработки заготовка ротора зажимается в токарном патроне за опорный технологический элемент. После чего в ряде последовательных переходов различными токарными резцами выполняется обтачивание наружных

элементов детали под базовый квадрат ключа. Затем заготовка переустанавливается и выполняется токарная обработка конструктивных элементов с другой стороны. Таким образом, в первом установе последовательно выполняется пять переходов обработки, во втором - четыре.

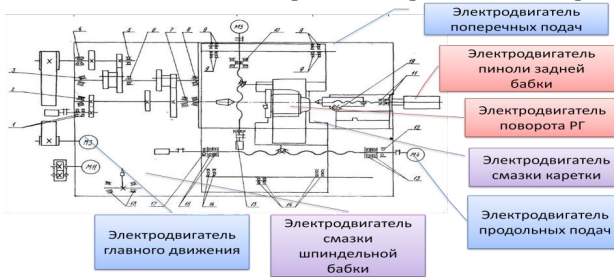


Рис. 1 Потребители электроэнергии на токарном станке с ЧПУ мод. 16 А20Ф3.

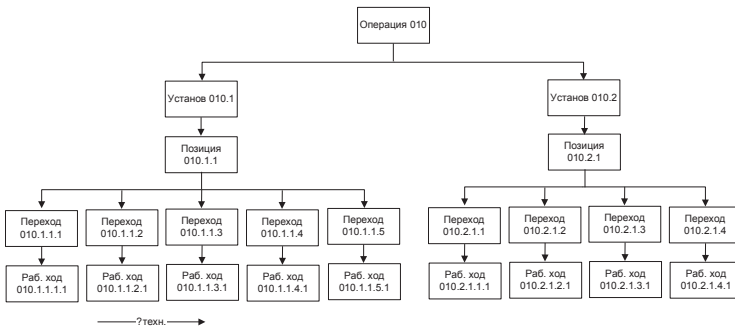


Рис. 2 Структура токарной операции с ЧПУ обработки детали «ротор трещотки».

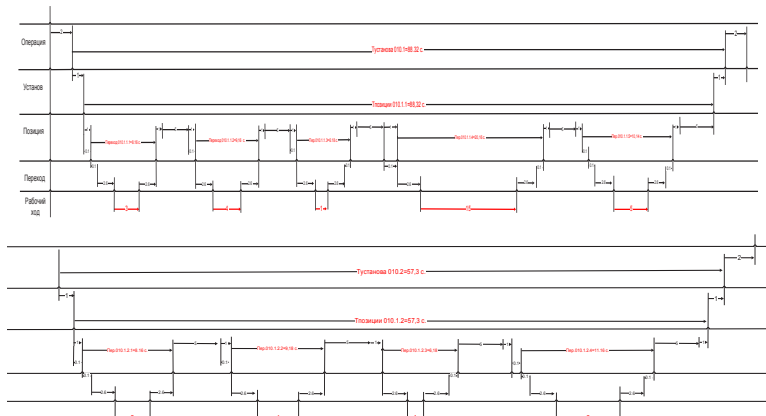


Рис. 3 Временная цепь выполнения токарной операции с ЧПУ обработки детали «ротор трещотки».

После определения структуры операции, на основе данных технико-нормировочной карты выполняется построение модели содержания технологической операции, по данным которой выполняется построение временных цепей длительности операции (рис. 3) и производственного задания в виде замкнутого контура векторов. Она необходима для расчета длительности работы каждым потребителем электроэнергии.

Токарный станок, задействованный в черновой операции имеет множество потребителей электроэнергии, каждый из электродвигателей работает в своем цикле, связанном с процессом обработки заготовки (рис 1).

Например в рабочем ходе энергия потребляют двигатель главного движения, двигатель подач по координате X и двигатель подач по координате Y. Их потребление зависит от условий выполнения процесса резания – значений рабочей подачи, глубины резания и числа оборотов детали. В переходе добавляются двигатели поворота резцдержателя, в установе – привод закрепления заготовки и т.д. В производственном задании задействованы транспортер уборки стружки, и загрузочные устройства. Разработанный и приведенный в [1] алгоритм расчета поэтапно для каждого цикла суммирует потребление электроэнергии каждым потребителем.

Рассмотрим практически ценные для предприятия результаты расчетов:

1. Имеется возможность в удобной форме оценить значимость каждого потребителя электроэнергии как в операции, так и при выполнении производственного задания (рис. 1, 2). Анализ вклада каждого потребителя дает информацию к снижению потребления электроэнергии.

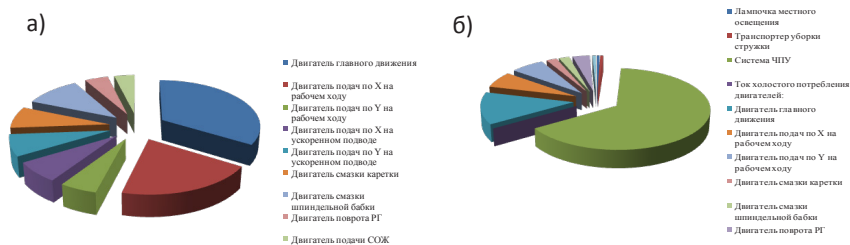


Рис. 1 Диаграммы значимости источников энергопотребления а) в операции, б) производственном задании.

2. Дает возможность оценки различных вариантов сокращения потребления электроэнергии, без изменения условий сохранения имеющего на рабочем месте станка, инструментальной и станочной оснастки. Для рассматриваемого примера вместо 3-х токарных инструментов, применяемых в базовом технологическом процессе применили один токарный резец с ромбической пластиной, обеспечивающий возможность обработки профиля конструктивных элементов. Такое изменение требует создания новой управляющей программы для системы числового программного управления, а также закупки новой державки и пластины. Экономия достигается за счет сокращения длительности выполнения операции, а также за счет

необходимости в постоянных поворотах револьверной головки и включениях и выключениях смазочно-охлаждающей жидкости.

Экономия потребления электроэнергии в операции

Таблица 1

| № | Потребители в операции | Потребление электроэнергии в базовом процессе кВт*ч | Экономия кВт*ч |
|--------|--|---|----------------|
| 1 | Двигатель главного движения | 0,0306 | 0 |
| 2 | Двигатель подач по X на рабочем ходу | 0,0182 | 0 |
| 3 | Двигатель подач по Y на рабочем ходу | 0,0048 | 0 |
| 4 | Двигатель подач по X на ускоренном подводе | 0,0047 | 0,0016 |
| 5 | Двигатель подач по Y на ускоренном подводе | 0,0052 | 0,0016 |
| 6 | Двигатель смазки каретки | 0,006 | 0,0008 |
| 7 | Двигатель смазки шпиндельной бабки | 0,0089 | 0,0006 |
| 8 | Двигатель поворота РГ | 0,002 | 0,002 |
| 9 | Двигатель подачи СОЖ | 0,003 | 0,0004 |
| ИТОГО: | | 0,0834 | 0,007 |

Экономия потребления электроэнергии в производственном задании

Таблица 2

| № | Потребители в операции | Потребление электроэнергии в базовом процессе кВт*ч | Экономия кВт*ч |
|--------|---------------------------------------|---|----------------|
| 10 | Лампочка местного освещения | 0,1813 | 0,0002 |
| 11 | Транспортер уборки стружки | 0,2 | 0 |
| 12 | Система ЧПУ | 17,4523 | 4,4496 |
| | Ток холостого потребления двигателей: | 0 | 0 |
| 13 | Двигатель главного движения | 3,4905 | 0,8899 |
| 14 | Двигатель подач по X на рабочем ходу | 1,7452 | 0,445 |
| 15 | Двигатель подач по Y на рабочем ходу | 1,7452 | 0,445 |
| 16 | Двигатель смазки каретки | 0,5236 | 0,1335 |
| 17 | Двигатель смазки шпиндельной бабки | 0,5236 | 0,1335 |
| 18 | Двигатель поворота РГ | 0,8726 | 0,2225 |
| 19 | Двигатель подачи СОЖ | 0,1745 | 0,0445 |
| ИТОГО: | | 28,7693 | 6,7637 |

Сокращается также время ускоренных перемещений, а следовательно расход электроэнергии, а также во вспомогательных системах смазки и подачи смазочно-охлаждающей жидкости. Экономия электроэнергии по данным расчета для партии из 480-ти деталей составила 10,2 кВт*ч, что составляет 13,14 % от потребления при первоначальном варианте обработки.

Методика расчета позволяет количественно оценить изменение потребления электроэнергии при любом, даже внешне незначительном организационном изменении, что важно при принятии решений при проектировании процесса. Следует отметить, что существующие укрупненные методики расчета потребления электроэнергии на этапе технологического проектирования не позволяют проводить расчеты с такой результативностью.

Литература:

1. Сафарова Л.Р., Глинина Г.Ф. Затраты времени как основа расчета объемов попутных продуктов, отходов и выбросов в операциях формообразования / Вестник СГТУ 2013 №2 (71) с. 95-97
2. Кондрашов А.Г., Сафаров Д.Т., Сафарова Л.Р., Глинина Г.Ф. Планирование энергетических затрат в производственных заданиях обработки деталей на станках с ЧПУ / СТИН 2017г №4 с. 27-36

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА БЛОКЧЕЙНА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

Сафаров Д.Т., Кузьмичева Я.К.

НЧИ К(П)ФУ, 423812 г. Набережные Челны пр. Мира 68/19

Представлен подход повышающий результативность взаимодействия инженерных служб предприятий-поставщиков автокомпонентов в цепочках поставок автокомпонентов при устранении причин дефектов, конечного потребителя продукции на основе применения метода блокчейна.

The presented approach improves the performance of interaction engineering services of the enterprises-suppliers of automotive components in the supply chain of automotive components eliminating the causes of defects, end-user products based on the application of the method of the blockchain.

Ключевые слова: автокомпоненты, дефекты, метод блокчейна, управление качеством, устранение дефектов, кодирование информации, инженерные службы.

Анализ работы отделов по работе с рекламациями предприятий-поставщиков автокомпонентов показал следующую общую практику разделения дефектов на «внешние» и «внутренние». Различие между ними в следующем. Внешними считаются дефекты, выявившиеся у промежуточных –

головной завод-производитель автокомпонентов или конечный – водитель автомобиля-тягача междугородних перевозок. Соответственно системы работы по этим дефектам различна.

По внешним дефектам ведется единый реестр рекламаций потребителей, в котором указываются данные по рекламации – обратившийся потребитель, дата обращения, код и наименование продукции, описание рекламации потребителем, трактовка текста обращения сотрудниками службы качества предприятия, текстовое описание причины дефекта, коренная причина, разработанные корректирующие действия, ответ потребителю (рис. 1.1).

Внутренние дефекты рассматриваются отдельно. Анализируются протоколы контроля продукции внутренними контролерами, формируется список обсуждаемых вопросов. С регулярностью несколько раз в месяц вопросы обсуждаются на совещании с участием инженера по качеству, ведущих инженеров-технологов, начальника бюро технического контроля, и других заинтересованных специалистов. В ходе обсуждения принимаются экспертные решения для преодоления возникших дефектов. Назначается исполнитель и сроки исполнения решений.

Результаты анализа внешних дефектов формируются в актах испытательной лаборатории, которые являются в основном средством принятия решений по рекламаций. А также, служить аргументом при юридических разбирательствах. Конечно же данные актов отправляются и в производство для улучшения процессов. Проведенный анализ количества рекламаций и их содержания показывает, такой вариант действий недостаточно результативен. Количество рекламаций не снижается, а остается на стабильном уровне.

Причиной неэффективности такого метода устранения причин дефектов является отсутствие механизма сквозного прослеживания дефектов по жизненному циклу автокомпонентов от внешнего потребителя, напрямую к технологическому процессу его возникновения. Таким требованием отвечает метод блокчейна, в настоящее время широко применяемый для генерирования криптовалют.

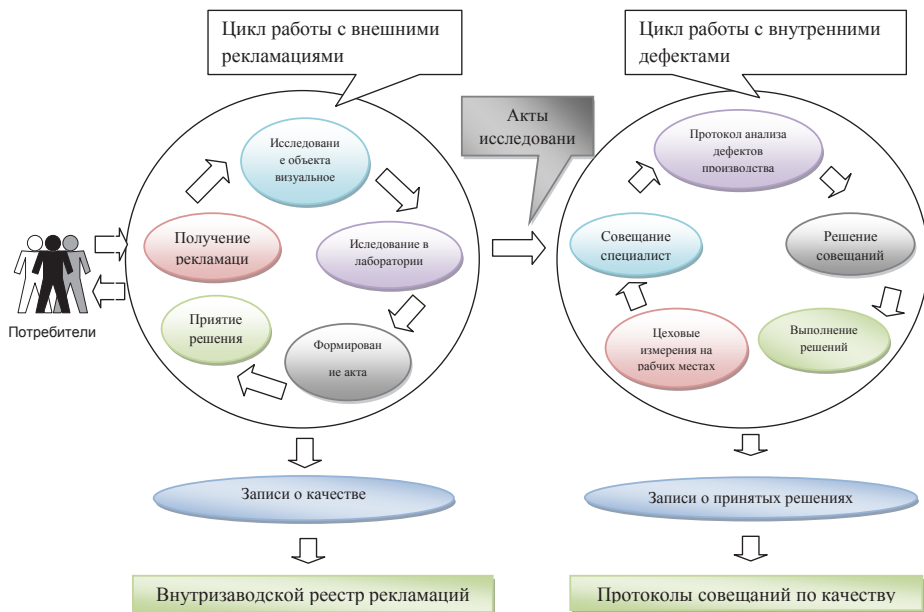


Рис. 1.1 Принятая схема процесса работы с дефектами и рекламациями на машиностроительном предприятии.

Метод блокчейна имеет ряд общеизвестных преимуществ, которые можно использовать для повышения результативности [1]:

- Хранение базы не на едином сервере, а сразу у всех участников системы, в виде связанных между собой копий.

- Все данные о транзакциях существуют не отдельно друг от друга, а связаны в непрерывную цепочку. Каждый новый блок данных в этой базе ссылается на предыдущий, из-за чего исключается и подлог данных в каком-либо блоке, и попытки внести новую, подложную информацию.

- Использование хеширования – одного из самых надежных криптографических методов для шифрования информации при создании новых блоков в базе данных.

- Открытость и прозрачность базы для пользователей. Каждый пользователь может при желании просмотреть данные о любой транзакции и отследить блоков в системе.

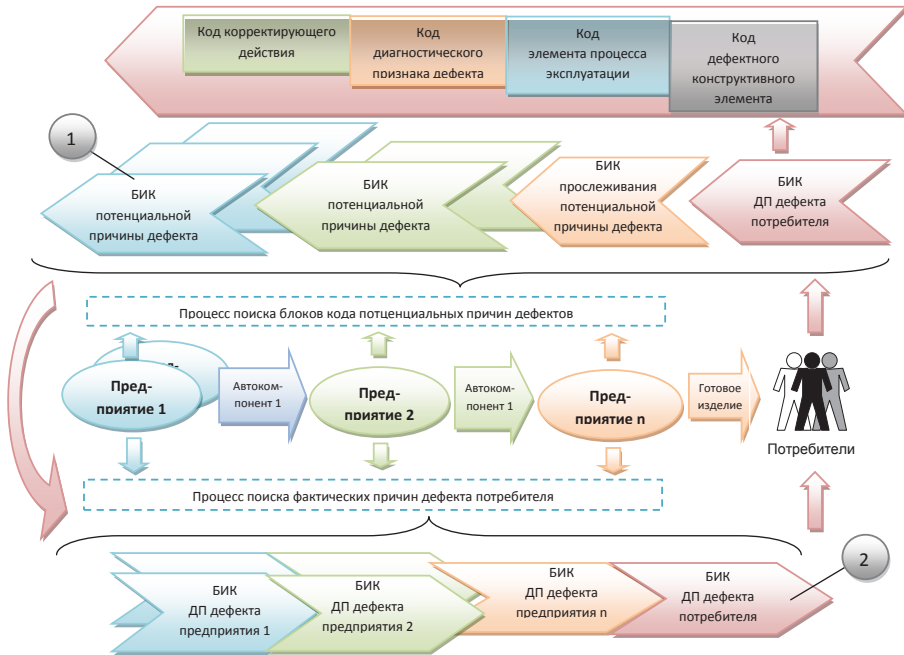


Рис. 2 Укрупненная схема формирования блоков информационного кода (БИК) диагностических признаков прослеживания дефектов, где 1 – БИК потенциальных дефектов, 2 - фактический БИК причин и корректирующих действий дефекта потребителя.

Применение блокчейна возможно при условии определения информационной единицы, на основе которой можно создать блоки взаимосвязанной информации – код дефектного конструктивного элемента, код процесса возникновения дефекта, код диагностического признака, код корректирующего действия для предотвращения возникновения дефекта (рис.2). Рассмотрим пример формирования информационных блоков, а также процесс улучшения качества продукции с их применением. У потребителя возник дефект продукции и он при помощи информационной системы генерирует код, содержащий информацию о прослеживании условий возникновения дефекта в виде кода разрушенного конструктивного элемента, кода эксплуатационного процесса, в котором произошло разрушение этого элемента, кода диагностического признака дефекта, а также проведенного им кода корректирующего действия по его устранению. Далее сформировавшийся информационный блок передается на предприятие предыдущего этапа жизненного цикла продукта. Это будет сборочное предприятие и его информационная система дополняет код другими блоками, которые содержат

информацию о всех потенциальных причинах обнаруженного дефекта у потребителя. В случае, если причина дефекта находится на предыдущем этапе, уже сформировавшиеся взаимосвязанные блоки передаются на следующее предприятие, которое выполняет операцию обработки резанием отдельных деталей и код дополняется следующими потенциальными блоками причин дефектов, этот процесс продолжается до тех пор, пока не будет достигнут конечный этап возникновения потенциальной коренной причины дефекта, вплоть до металлургических предприятий. Построение возможных вариантов этого кода выполняется автоматически.

Далее инженерные службы предприятия, на котором возник дефект выполняет проверку блоков кода своих технологических процессов и отсеивает те из них, которые были только потенциальными. Они исключаются из первоначально сформированного дерева возможных причин дефекта. В итоге формируется итоговый информационный блок, содержащий уже не потенциальную, а действительную информацию о причинах дефекта потребителя. Транзакция прослеживания причин дефекта не закрывается, пока не будет введен код проведенного корректирующего действия для предотвращения причин возникновения дефекта. Результативность проведения корректирующих действий выполняется в процессе аудитов – потребителя или ресертификационных.

Для результативного улучшения качества продукции применением блокчейна необходима информационная система, которая могла бы единым образом в реальном времени показать ключевые рабочие места технологических процессов – источники дефектов конечного потребителя.

Авторами проработана глубокая одновременная дифференциация всех технологических процессов создания автомобиля, конструкции изделия и показателей качества изделия от момента зарождения свойств материала будущих деталей, до момента утилизации изделия [2,3,4]. Эти данные должны дополнять стандартное содержание РРАР, который формируется в результате процесса подготовки производства автокомпонента. Разработаны и алгоритмы прослеживания дефектов по этапам жизненного цикла деталей.

Литература.

1. Акт Р. Анатомия краудфандинга, или Феномен ICO /Издательские решения, 2017. — 70 с.
2. Касьянов С.В., Сафаров Д.Т. Прослеживание процесса создания продукции как основа улучшения качества / Методы менеджмента качества № 8 2007 г. с. 38-42
3. Касьянов С.В., Сафаров Д.Т., Сафаров Л.Р. Концепция проектирования технологий жизненного цикла попутных продуктов и отходов в процессе подготовки производства нового автокомпонента. / (МНТК «ИМТОМ–2016»). Ч.1 – Казань, 2016. с. 309-312
4. Касьянов С.В., Сафаров Д.Т. Диагностирование технического состояния оборудования и оснастки по показателям технологической точности / Автомобильная промышленность, №5, 2004 г. с. 24-28

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ВОД, СОДЕРЖАЩИХ ИОНЫ МЕДИ

Трус И.Н., Гомеля Н.Д., Иваненко Е.И., Воробьева В.И.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
E-mail: inna.trus.m@gmail.com

В работе представлен обзор реагентной технологии очистки сточных вод от ионов меди. Выявлено влияние доз реагентов на степень очистки от ионов меди методом математического планирования эксперимента. Максимальная степень извлечения ионов меди составляет 99,6 %.

Ключевые слова: математическая модель, медь, очистка

This paper presents an overview of the reagent technology of wastewater treatment from copper ions. The influence of doses of reagents on the degree of purification from copper ions by mathematical experiment planning was studied. The maximal degree of delete of the copper ions makes 99,6 %.

Keywords: mathematical model, copper, purification

Проблема загрязнения водных ресурсов ионами тяжелых металлов на сегодняшний день является весьма актуальной. Анализ литературных данных по методам очистки водных растворов от ионов тяжелых металлов показывает, что несмотря на большое количество методов, реагентные методы остаются перспективными, поскольку они наиболее универсальны, достаточно просты в исполнении и дешевые[1–3]. Для определения эффективности реагентной очистки воды от ионов меди были проведены исследования для установления оптимальных доз реагентов. Для извлечения ионов меди из исследуемых растворов в качестве осадителя использовали ферроцианид калия, с целью улучшения седиментационных свойств полученной твердой фазы использовали раствор катионного флокулянта Zetag - 7547.

Для внедрения метода необходимо обладать подробными зависимостями между основными параметрами процесса в оптимальных условиях его проведения. Поэтому были рассчитаны уравнения регрессии для зависимости остаточных концентраций меди в воде в зависимости от дозы ферроцианида калия и поликатионита Zetag-7547.

В основу расчета был положен полный факторный план (ПФП) типа 2^2 . План-матрица ПФП 2^2 и результаты эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1– План-матрица ПФП 22 и результаты исследования извлечения ионов меди из водных растворов

| № п/п | Матрица планирования | | Натуральные значения факторов | | Значения параметров С (Cu ²⁺), мг/дм ³ |
|-------|----------------------|----------------|---|--|--|
| | X ₁ | X ₂ | Доза K ₄ [Fe(CN) ₆], мг/дм ³ | Доза поликатионита Zeta g-7547, мг/дм ³ | |
| 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 0,92 |
| 2 | +1 | -1 | 15 | 1 | 0,44 |
| 3 | -1 | +1 | 1 | 10 | 1,67 |
| 4 | +1 | +1 | 15 | 10 | 0,33 |

В результате соответствующих вычислений после проверки соответствия результатов исследования, оценки значимости полученных коэффициентов и проверки уравнения регрессии на адекватность, неизвестна зависимость имеет следующий вид:

$$Y = 0,84 - 0,455 \cdot X_1 + 0,16 \cdot X_2 - 0,215 \cdot X_1 \cdot X_2$$

После замены в полученном уравнении кодовых значений натуральными получили следующее уравнение регрессии в натуральном виде:

$$Y = 0,864127 - 0,02746 \cdot Д(K_4[Fe(CN)_6]) + 0,090159 \cdot Д(Zetag-7547) - 0,00683 \cdot Д(K_4[Fe(CN)_6]) \cdot Д(Zetag-7547)$$

Полученная зависимость представлена на рисунке 1 в виде плоскости, на которой лежит решение приведенного уравнения. На рисунке показана зависимость эффективности извлечения ионов меди из водных растворов от концентрации реагентов.

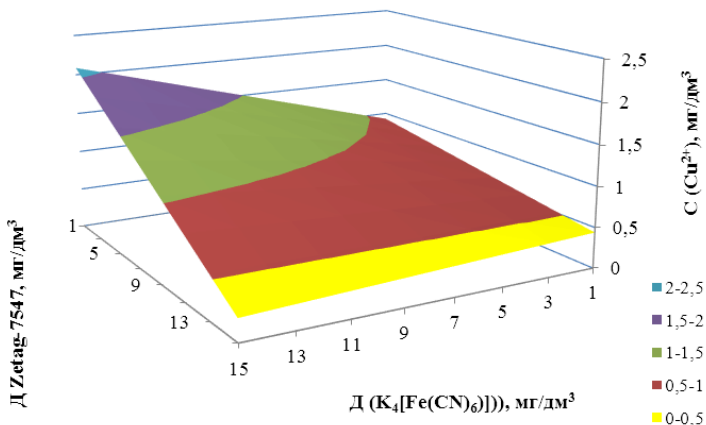


Рисунок 2 - Графическое изображение результатов ПФП типа 2² при извлечении меди с феррицианидом калия и поликатионитом Zetag-7547

Анализ представленного графика показывает, что экспериментальные точки, которые были использованы при расчете уравнения регрессии, находятся на построенной плоскости решений, что свидетельствует об адекватности использованного уравнения. Используя данные уравнения регрессии довольно легко рассчитать дозы реагентов для извлечения меди при использовании в качестве реагентов ферроцианида калия и поликатионита Zetag-7547.

Литература

1. Сидоренко І.С., Мельниченко Є.В., Трус І.М., Гомеля М.Д. Очищення стічних вод від іонів міді// X Всеукраїнська студентська науково-технічна конференція “Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання”(25-26 квітня 2017 р.). – Тернопіль. – 2017. – С. 222.
2. Сидоренко І.С., Трус І.М., Мельниченко Є.В., Гомеля М.Д., Терещенко О.М. Вплив рН на процес вилучення іонів міді з водних розчинів // VIII Міжнародна науково-технічна конференція «Хімія та сучасні технології»(26-28 квітня 2017 р.). – м. Дніпро. – 2017. – С. 27-28.
3. Сидоренко І.С., Трус І.М., Мельниченко Є.В., Гомеля М.Д., Терещенко О.М. Видалення міді з води методом флокуляції // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції „АВІА-2015” (19-21 квітня 2017 року). – м. Київ. – 2017. – С. 27.104-27.106.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ПАРОКАПЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ КОАГУЛЯЦИИ И ДРОБЛЕНИЯ ЧАСТИЦ

Тукмакова Надежда Алексеевна, Тонконог Владимир Григорьевич,
Тукмаков Алексей Львович

Казанский национальный исследовательский технический университет им.
А.Н.Туполева- КАИ
420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10
nadejdatukmakova@yandex.ru

Целью работы является описание процессов, протекающих в регазификаторе сжиженного природного газа, обладающего малой длительностью переходного процесса при переходе к стационарному режиму при изменении расхода на основе математического моделирования термо- и гидродинамики полидисперсных парокапельных течений с закруткой потока.

The purpose of the work is description of the processes occurring in the liquefied natural gas heater-gasifier having small duration of transition process upon transition to the stationary mode at the flow volume change on the basis of mathematical modeling of the thermo- and hydrodynamics of multiphase mist flows with swirling of the stream.

Ключевые слова: система уравнений Навье-Стокса, несущая среда, полидисперсность, коагуляция, дробление.

Течение газозвеси в трубе Фильда, представляющей собой концентрический канал, образованный внутренней и внешней цилиндрическими поверхностями, исследуется с целью расчёта параметров трубного подогревателя сжиженного природного газа (СПГ). Отличие предлагаемого устройства от существующих аналогов состоит в том, что на входе во внутренний цилиндр жидкость распыляется и далее движется в виде паракапельной смеси. За счёт того, что регазификация осуществляется в результате нагрева и испарения паракапельной смеси, процесс происходит без возникновения критических явлений, с малой инерционностью относительно расхода. Внешняя поверхность устройства нагревается, происходит нагрев движущейся газозвеси и испарение капель жидкости. Устройство может быть использовано в качестве тепловоспринимающего элемента трубного подогревателя-газификатора СПГ, предназначенного для подогрева природного газа на входе газораспределительных станций. В процессе движения газозвеси, в зависимости от режима течения и величины внешнего теплового потока, могут происходить процессы коагуляции, дробления, испарения капель, влияющие на структуру потока и расходные характеристики устройства. Для выбора конструктивных параметров тепловоспринимающего элемента и режимов его работы - дисперсности на входе, перепада давления на входе-выходе, величины внешнего теплового потока - требуется моделирование процессов, сопровождающих течение паракапельной смеси. В данной работе описывается модель, позволяющая описать течение полидисперсной смеси с учетом коагуляции и дробления частиц различных фракций.

Классическая схема регазификатора, нагревающего капельную жидкость, приведена в работе [1]. Нагреваемая среда, например, очищенный природный газ, из магистрального трубопровода поступает через штуцер 4 во внутреннюю полость 6 внутренней теплообменной трубы 2, затем выходит через открытый конец внутренней трубы 2, разворачивается и попадает во внешнюю полость 7, образованную кольцевым зазором между внешней 1 и внутренней 2 тепловыми трубами. Нагретый в кольцевых зазорах теплообменных труб газ поступает в выходной штуцер 5 и транспортируется к блоку редуцирования газораспределительной станции (рис. 1).

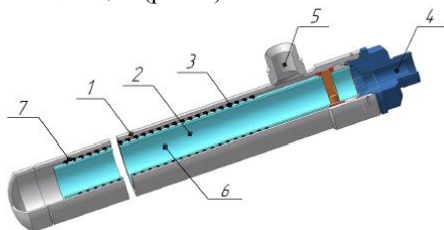


Рис. 1. Схематическое изображение технологического нагревателя (трубы Фильда) в разрезе.

Уравнения движения несущей среды:

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} &= -\frac{\rho v}{y}, \quad \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u^2 + p - \tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho uv - \tau_{xy}) = \frac{\rho uv - \tau_{xy}}{y} - \sum_{i=1,n} F_{xi} + \alpha \frac{\partial p}{\partial x}, \\ \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho uv - \tau_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v^2 + p - \tau_{yy}) &= \frac{\rho v^2 - \tau_{yy}}{y} - \sum_{i=1,n} F_{yi} + \alpha \frac{\partial p}{\partial y}, \\ \frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial y} &= \frac{\rho vw}{y} - \sum_{i=1,n} F_{zi}, \\ \frac{\partial e}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left([e + p - \tau_{xx}]u - \tau_{xy}v + \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left([e + p - \tau_{yy}]v - \tau_{xy}u + \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) &= \\ = -\frac{[e - \tau_{yy}]v - \tau_{xy}u + \lambda \frac{\partial T}{\partial y}}{y} - \sum_{i=1, n} Q_i - \sum_{i=1, n} (|F_{xi}|(u - u_i) - |F_{yi}|(v - v_i)) + \alpha \left(\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} \right). \end{aligned}$$

Здесь ρ , u , v , w , u_i , v_i , w_i , E , λ , μ , d_i , σ – плотность несущей среды, составляющие скорости несущей среды и фракций дисперсной фазы, удельная полная энергия, коэффициенты теплопроводности и вязкости несущей фазы, диаметр капли i -ой фракции и коэффициент поверхностного натяжения жидкости [2].

Дисперсная фаза состоит из ряда фракций, образованных частицами одного размера, динамика которых описывается уравнением сохранения средней плотности фракции, уравнениями сохранения компонент импульса и уравнением сохранения тепловой энергии:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho_i}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_i u_i)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho_i v_i)}{\partial y} &= -\frac{\rho_i v_i}{y}, \\ \frac{\partial(\rho_i u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho_i u_i^2) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho_i u_i v_i) &= -\frac{\rho_i u_i v_i}{y} + F_{xi} - \alpha \frac{\partial p}{\partial x}, \\ \frac{\partial(\rho_i v_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho_i u_i v_i) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho_i v_i^2) &= -\frac{\rho_i v_i^2}{y} + F_{yi} - \alpha \frac{\partial p}{\partial y}, \\ \frac{\partial(\rho_i w_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho_i u_i w_i) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho_i v_i w_i) &= -\frac{\rho_i v_i w_i}{y} + F_{zi}, \\ \frac{\partial e_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(e_i u_i) + \frac{\partial}{\partial y}(e_i v_i) &= \text{Nu}_i \frac{6\alpha_i}{(2r_i)^2} \lambda (T - T_i), \quad \rho_i = \alpha_i \rho_{i0}, \quad e_i = \rho_i C_{pi} T_i. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь α_i , ρ_i , e_i , T_i – объемное содержание, средняя плотность, тепловая энергия и температура дисперсной фазы; C_{pi} , ρ_{i0} – теплоемкость и плотность вещества i -ой дисперсной фракции. Система уравнений движения каждой дисперсной фракции содержит уравнение для азимутальной составляющей импульса, записанное в предположении об азимутальной симметрии потока при его вращении. В качестве термического уравнения состояния для несущей среды было применено уравнение состояния Бенедикта-Вебба-Рубина [3]:

$$p = RT\rho + \left(BRT - A - \frac{C}{T} \right) \rho - (bRT - a)\rho + a\rho\rho + \frac{c\rho}{T} (1 + \gamma\rho) \exp(-\gamma\rho), \quad (3)$$

коэффициенты a , A_0 , b , B_0 , c , C_0 , α , γ определяются по известным значениям плотности, давления и температуры метана в парообразном состоянии.

Система уравнений движения двухфазной полидисперсной газозвеси записывалась в обобщенных подвижных координатах [4, 5, 6] и решалась явным методом Мак-Кормака второго порядка со схемой нелинейной коррекции [7, 8].

Коагуляция и дробление капель происходят в зависимости от величины числа Вебера для частиц дисперсной фракции. Если число Вебера для частицы i -ой фракции меньше критического значения ($We_{кр} = 2-10$), то при столкновениях ее с частицами менее крупных фракций, происходит их коагуляция, вследствие чего изменяется масса, концентрация, импульс и температура частицы i -ой фракции. Этот процесс описывается лагранжевой моделью Смолуховского [6]. Если же число Вебера для частицы i -ой фракции больше критического, то движение такой частицы сопровождается газодинамическим дроблением, приводящим к уменьшению массы частицы i -ой фракции. В качестве механизма разрушения капли может быть выбран тарельчатый тип дробления, связанный со срывом пограничного слоя [9, 10], реализующийся при $We_{кр} \leq We < 1,7 \cdot 10^4 / Lp^{0,5}$.

Расчёты велись на блочно-структурированных сетках, построенных для трёх подобластей (рис. 2). Граничные условия на линиях стыковки блоков задавались с учётом направления течения. Задавалось давление на входе в подобласть I и давление на выходе из области III. В начальный момент времени задавалась скорость несущей среды и дисперсных фракций в области I. В областях II и III среда при $t=0$ полагалась неподвижной.

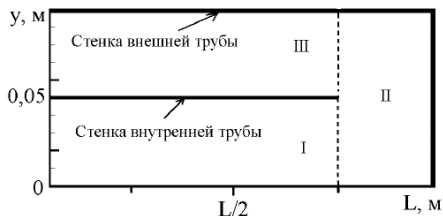


Рис. 2. Схематическое изображение расчётной области: I, II, III — подобласти блочно-структурированной сетки.

В результате расчётов были получены поля газодинамических функций несущей среды и ряда дисперсных фракций, частицы которых, в зависимости от числа We участвовали в процессах коагуляции и дробления.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта №17-48-160359 p_a.

Литература

1. Серазетдинов Б.Ф., Серазетдинов Ф.Ш., Тонконог В.Г. Технологический нагреватель: пат. на изобретение № 2467260. Приоритет 11.01.2011. Зарегистрирован в Гос.реестре изобретений РФ 20.11.2012.
2. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. Ч. I. М.: Наука, 1987. 464 с.
3. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: "Химия". Ленинградское отделение, 1982. 496 с.
4. Тукмаков А.Л., Тонконог В.Г., Арсланова С.Н. Волновая коагуляция полидисперсной газозвеси в технологии газификации и криостатирования сжиженного природного газа // Акустический журнал. 1972. Т. 62, № 1. С. 125–131.
5. Кутушев А.Г. Математическое моделирование волновых процессов в аэродисперсных и порошкообразных средах. СПб.: Изд-во Недр, 2003. 283 с.
6. Термодинамические и теплофизические свойства продуктов сгорания: справочник в 5 т. Т. 1. Методы расчёта / В.Е. Алемасов, А.Ф. Дрегалин, А.П. Тишин, В.А. Худяков. М.: Изд-во ВИНТИ, 1971. 267 с.
7. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. Т. 2. М.: Мир, 1991. 551 с.
8. Steger J.L. Implicit Finite-Difference Simulation of Flow about Arbitrary Two-Dimensional Geometries // AIAA J. 1978. V. 16. № 7. P. 679–686.
9. Арефьев К.Ю., Воронецкий А.В. Моделирование процесса дробления и испарения капель нереагирующей жидкости в высокоэнтуальпийных газодинамических потоках // Теплофизика и аэромеханика. 2015. Т. 22. № 5. С. 609–620.
10. Самойлович Г.С. Гидрогазодинамика. М.: Машиностроение. – 1990. – 384 с.

ОПЕРАТИВНАЯ ДИАГНОСТИКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Филина Ольга Алексеевна,
Пасечник Светлана Витальевна,
Гараева Альфия Ришатовна

Казанский Государственный Энергетический Университет, г. Казань
г. Казань, ул. Красносельская, д. 51, корп. Б

Аннотация. Эта статья посвящена проблеме технической диагностики энергетических установок. Для решения задачи необходим перевод качественного определения отказов на некоторую количественную основу. Формализация качественных определений является необходимым условием построения формальных (вычислимых) алгоритмов диагностики.

Annotation. This article is devoted to the problem of technical diagnostics in power plants. To solve the problem, a qualitative definition of the refusals must be

translated into a quantitative basis. Formalization of qualitative definitions is a necessary condition for constructing formal (computable) diagnostic algorithms.

Ключевые слова: повышение надёжности, спектральный метод, компонент, процесс преобразования, методика, наработка, неисправность, возможные состояния.

Решая свои энергетические проблемы, человечество разработало и построило такие энергетические установки и системы управления ими, что обслуживающие операторы при попадании в предаварийные и аварийные ситуации вынуждены совершать либо преступления, делая ошибки и принимая неверные решения, либо подвиги, не допуская при этом катастрофических последствий («Атомная стратегия» № 3(29), март 2007, Ю.Н.Мясников).

Краткий анализ успешности функционирования широкого спектра энергетических установок (ЭУ) различного назначения и принципа действия показывает следующее:

- чем большую мощность имеет энергетическая установка, тем сложнее система её управления;
- абсолютно надёжных энергетических установок не существует;
- люди, управляющие этими установками на всех уровнях иерархии, влияя на показатели надёжности энергетического оборудования через, так называемый, человеческий фактор, который может быть и положительным, и отрицательным;
- периодически в ЭУ возникают нештатные аварийные ситуации, с которыми обслуживающий персонал не всегда может справиться (аварии на АЭС «Три майл Айленд» США, Чернобыльской АЭС; катастрофы с самолётами и морскими судами, авария на Саяно-Шушенской ГЭС и т. д.).

При функционировании искусственных технических систем, в них неизбежно будут появляться неисправности, поломки, возникать нештатные ситуации, в ряде случаев переходящие в аварии.

С этими проблемами должны справляться система управления ЭУ и обслуживающий персонал. Абсолютную надёжность энергетических установок должен обеспечивать тандем: «Техническая система управления» - «Человек (обслуживающий персонал)», (Под абсолютной надёжностью понимается не исключение поломок, неисправностей, отказов, а своевременная идентификация неисправности, её локализация, перевод установки в щадящий режим и исключение аварии или катастрофы).

Замена стареющего парка энергетического оборудования новым поколением ЭУ происходит не так быстро, как хотелось бы, и не только у нас в стране. Проблема безаварийности энергетического оборудования, введенного в строй в 1970-1980 гг., обостряется с каждым последующим годом эксплуатации.

Так, больше половины гидротурбин, установленных на российских ГЭС, имеют износ более 45%. По международным критериям это оборудование уже относится к категории «лома». Саяно-Шушенская ГЭС в списке кандидатов на вероятные аварии находилась лишь на 66-м месте (из 110). Из 30 нормированных лет турбины отработали 29 лет 10 месяцев, то есть им

оставалось два месяца проектной жизни. Не будь авария спровоцирована проблемами на Братской ГЭС 17 августа 2009 г., она случилась бы чуть позже. Более половины оборудования на теплоэлектростанциях, в том числе паровые турбины, имеют оставшийся ресурс меньше 10%. (из доклада бывшего замминистра энергетики России В. Кудрявого). Страна вступила в полосу аварийных ситуаций в энергетике, которая растянется на ближайшее десятилетие.

Одним из способов предотвращения техногенных аварий, связанных с ЭУ, является разработка и внедрение в практику эксплуатации энергетических установок диагностических экспертных систем (ДЭС).

По своему функциональному назначению и структуре организации комплексной системы управления техническими средствами (КСУТС) ДЭС находится на стыке систем управления ЭУ и её противоаварийных систем. ДЭС представляет собой искусственную интеллектуальную (ИИ) систему, способную в данной предметной области эффективно решать диагностические задачи на уровне специалистов-экспертов.

На первом этапе внедрения ДЭС представляет собой систему информационной поддержки оператора на центральном пульте управления ЭУ. Пульты управления ЭУ должны оснащаться системами оперативной диагностики, решающими в реальном масштабе времени в автоматическом режиме задачи поиска причин нарушения работоспособности (ППНР) при появлении неисправности в функционирующей установке.

Вторым этапом в развитии ДЭС является разработка самих систем. Наибольший эффект от использования диагностических экспертных систем достигается в случае, если при их разработке ставится задача обслуживания не только конкретных установок: реакторной, турбинной, генераторной, очистительной и т. д., но объекта в целом, вместе со всей совокупностью обслуживаемых вспомогательных систем.

Третьим этапом в развитии ДЭС станет разработка экспертно-диагностических управляющих систем. Обладая свойствами искусственного интеллекта и функционируя в комплексе с КСУТС, они могут подключаться к системам управления ЭУ в автоматическом режиме.

Поддержка деятельности операторов ЭУ системами искусственного интеллекта диктуется особенностями задач, периодически возникающих перед операторами:

- плотность информационных потоков, поступающих на пульт управления ЭУ в предаварийных и аварийных ситуациях, достигает 30÷50 бит/с. Удовлетворительно справиться с обработкой такого объема информации в короткий промежуток времени и сформировать правильные заключения об истинном техническом состоянии оборудования могут только специализированные электронно-машинные средства;

- постоянно пополняемый опыт эксплуатации ЭУ должен точно фиксироваться, надёжно, длительно и без потерь храниться и эффективно использоваться в практике эксплуатации ЭУ. Это требование может быть

выполнено при использовании различных носителей памяти, обеспечивающих работу экспертных систем;

- опыт эксплуатации ЭУ должен использоваться на всех подобных или однотипных объектах путем фиксации, анализа, формализации и тиражирования в системах искусственного интеллекта на других объектах;

- специфика работы человека-оператора, управляющего ЭУ с центрального пульта управления (ЦПУ), характеризуется периодическими стрессами, неблагоприятными, а порой, и опасными для здоровья человека ситуациями, в которых более надёжно и устойчиво могут работать машинные средства с программами диагностических экспертных систем и искусственного интеллекта в диалоговом режиме;

- задачи, возникающие перед обслуживающим ЭУ персоналом в предаварийных ситуациях, столь сложны и нестандартны, а временной ресурс для принятия решения так мал, что их реализация носит эвристический характер. Решение этих задач требует применения эмпирических правил с использованием широкого технического опыта, правил дедукции, методов оперативного многофакторного прогноза. Теоретически они могут быть решены посредством классического математического аппарата, но практически трудно решаемы из-за отсутствия необходимого количества замеров диагностических параметров на объекте. Поэтому подобные задачи должны решаться в условиях реального времени методами ДЭС и систем ИИ. В определённом смысле, это последнее средство, когда другие методы уже не работают.

Основные принципы построения ДЭС

Для современной атомной энергетической установки (АЭУ) атомного ледокола, надводного или подводного корабля, плавучего атомного энергоблока были выполнены проработки алгоритмов оперативного технического диагностирования оборудования ЭУ – алгоритмы поиска причин нарушения работоспособности (ППНР).

На втором этапе апробации методики и её проверки были построены расширенные диагностические модели ЭУ, сформулированы принципы формирования новой базы знаний и принцип построения расширенных алгоритмов ДЭС.

Основные положения методики построения ДЭС поддержки оператора ЭУ следующие:

- анализ структуры оборудования ЭУ, возможности и целесообразности выделения отдельных функционально-самостоятельных элементов (ФСЭ) оборудования как потенциальных причин нарушения работоспособности ЭУ, разработка-согласование критериев структурной значимости элементов;

- построение диагностической модели установки в объёме обеспечения задач ППНР, которая включает следующие структурно-функциональные части:

- структурно-диагностическую схему объекта в виде сети функционально-самостоятельных элементов, связей между ними и связей с внешней средой;

- функционально-диагностическую модель объекта, содержащую аналитическое описание рабочих процессов в ФСЭ и перечень диагностических контролируемых параметров;

- логическую диагностическую модель объекта в виде сети логических элементов, каждый из которых описывается системой логических уравнений выходных сигналов, полученных из дискретно преобразованных диагностических параметров;

- матрицу технических состояний с дискретными значениями логических выходных сигналов по результатам решения системы логических уравнений выходных сигналов. Матрица технических состояний (ТС) является физико-математической основой алгоритмов оперативного диагностирования – алгоритмов ППНР.

- построение диагностической экспертной модели объекта на базе матрицы ТС путём её расширения. Особенности данного этапа моделирования:

- для каждого ФСЭ определяются все имеющиеся энергетические, конструктивные, управляющие и даже возможные временные связи с другими элементами оборудования;

- за счёт дополнительных логических элементов других взаимосвязанных систем, временных связей и элементов-факторов внешней среды, выявленных по результатам последнего анализа, достраивается логическая диагностическая модель объекта. Эти дополнительные элементы и связи могут иметь или не иметь установленных датчиков контроля.

Список литературы

1. ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ: ПРОБЛЕМЫ, ТЕНДЕНЦИИ, ПЕРСПЕКТИВЫ / Филина О.А., Гиматдинов Ф.С., Аскаков Ф.Ф. / Новая наука: Современное состояние и пути развития. 2017. № 1-2. С. 160-162.

ВНЕШНЯЯ ТЕПЛООТДАЧА В КОРИДОРНЫХ ПУЧКАХ ТРУБ РАЗЛИЧНОЙ КОНФИГУРАЦИИ ПРИ НАЛОЖЕНИИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ

Хайбуллина А.И.,

старший преподаватель кафедры «Энергообеспечение предприятий и энергоресурсосберегающих технологий», Казанский государственный энергетический университет

Бадретдинова Г.Р.

студент кафедры «Энергообеспечение предприятий и энергоресурсосберегающих технологий», Казанский государственный энергетический университет

В работе численным методом исследован внешний коэффициент теплоотдачи при поперечном обтекании пучков труб, пульсирующем потоком. Моделирование проводилось с помощью программы ANSYS Fluent 14.0. Числа Рейнольдса лежали в диапазоне $100 \leq Re \leq 1000$, числа Прандтля $215 \leq Pr \leq 363$, частота и безразмерная амплитуда пульсаций находилась в диапазоне $0,2 \leq f \leq 0,5$, Hz, $15 \leq \beta \leq 35$, скважность пульсаций $0,25 \leq \psi \leq 0,5$. Исследование внешней теплоотдачи при низкочастотных пульсациях проводилось для 3 коридорных пучков. По результатам моделирования получено критериальное уравнение позволяющее рассчитывать внешнюю теплоотдачу при пульсирующих течениях в пучках труб различной конфигурации.

Abstract

In this paper, the external heat transfer coefficient for cross flow around a tube bundle by a pulsating flow was studied numerically method. ANSYS Fluent 14.0 is used for the mathematical modeling. The Reynolds numbers lie in the range $100 \leq Re \leq 1000$, the Prandtl number $215 \leq Pr \leq 363$, the frequency and the dimensionless relative amplitude of the pulsations were in the range $0,2 \leq f \leq 0,5$, Hz, $15 \leq \beta \leq 35$, the pulsation ratio $0,25 \leq \psi \leq 0,5$. The external heat transfer was studied for low-frequency pulsations for 9 configurations of staggered tube bundles and 3 corridor tube bundles. Based on the simulation results, a criterial equation is obtained that allows calculating the external heat transfer in pulsating flows in tube bundles of different configurations.

Ключевые слова: пульсирующие течения, теплоотдача, коридорный пучок труб, шахматный пучок труб, несимметричные пульсации, численное моделирование.

Key words: pulsating flow, heat transfer, corridor tube bundle, staggered tube bundle, asymmetrical pulsations, numerical simulation.

Теплоотдача при пульсирующих течениях исследуется не одно десятилетие на данный момент имеется огромное количество работ посвященных исследованиям внешнего и внутреннего теплообмена при пульсирующих течениях, а именно течение жидкости в трубах круглого сечения [1], в каналах с углублениями [2], при обтекании одиночного цилиндра [3, 4], тандема цилиндров [5], различных выступов, блоков и других препятствий [6, 7].

В работе [8] численным и экспериментальным методом был исследован теплообмен при поперечном обтекании цилиндра с низкочастотными пульсациями синусоидального характера в диапазоне $0,2 \leq f \leq 1,1$, Hz и высокими относительными пульсациями $10 \leq A/D \leq 38$, при этом пульсационное число Рейнольдса находилось в диапазоне $40 < Re_{os} < 810$.

В данной работе планируются исследовать теплообмен в пучках труб различной конфигурации, с симметричными и несимметричными пульсациями. Теплообмен одиночного цилиндра при пульсациях с различной скважностью ψ численным методом исследовался в работе [9], пучков труб в статье [10]. Показано, что скважность пульсаций ψ оказывает влияние на теплоотдачу при неизменных Re и частотах f .

Расчетная область модели (рис. 1) представлена на рис. 1.

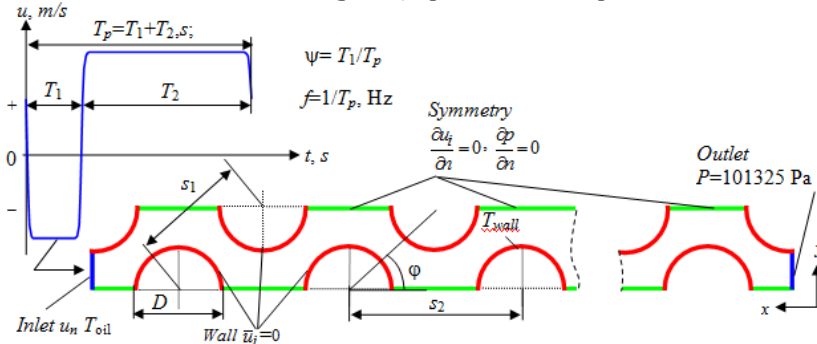


Рис. 1. Расчетная область модели

Течение несжимаемой жидкости описывается системой уравнений Навье-Стокса (Reynolds averaged Navier–Stokes RANS) осредненных по методу Рейнольдса, которая состоит из уравнения неразрывности [11]

$$\frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_j} = 0, \quad (1)$$

и уравнения переноса для средних значений величин, случайным образом пульсирующих в турбулентном потоке с применением теории турбулентной вязкости предложенной Ж. Буассинеском

$$\frac{\partial \rho \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho \bar{u}_j \bar{u}_i}{\partial x_j} = - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left((\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right), \quad (2)$$

где \bar{u}_i , \bar{u}_j – компоненты осредненной скорости; ρ – плотность жидкости; μ – динамическая вязкость; \bar{p} – давление; μ_t – турбулентная вязкость; ($i = 1, 2, j = 1, 2$).

Теплоперенос описывается уравнением конвективного теплообмена Фурье-Кирхгофа [14].

Для моделирования турбулентности на основе проведенного анализа [12, 13] была выбрана модель Спаларта-Аллмараса (Spalart-Allmaras, SA) в модифицированном виде SARC с поправкой на кривизну линии тока (RC).

Пульсирующие течения моделировались с помощью профиля скорости (зависимость скорости от времени $u(t)$), соответствующий необходимым относительным амплитудам β , частотам f , Re и скважностям ψ пульсаций, который задавался на входе пучок труб в качестве граничного условия (рис. 1). Относительная амплитуда рассчитывалась как $\beta = A/D$, где A – смещение частицы жидкости назад, m в самом узком сечении межтрубного пространства пучка; D – диаметр трубки пучка. Числа Re рассчитывали как

$$Re = \frac{uD}{\nu}, \quad (3)$$

где ν – кинематическая вязкость, $\text{м}^2/\text{с}$; u_p – скорость жидкости, $\text{м}/\text{с}$ для пульсирующего течения осредненная за период пульсаций T_p была равна скорости стационарного течения u_{st}

$$u_{st} = u_p = \frac{1}{T_p} \int_0^{T_p} u_p(t) dt. \quad (3)$$

Профиль скоростей получен с помощью математической модели гидравлической системы пульсатор–теплообменник [14]. В этой статье проводилось численное моделирование с целью выяснения реального профиля скорости в пучках труб теплообменного оборудования при генерации пульсаций с помощью пульсационного устройства.

Рабочей жидкостью было масло. Температур масла T_{oil} задавалась на входе в пучок труб в зависимости от необходимых чисел Прандтля $Pr = \nu/a$, где температуропроводность $\text{м}^2/\text{с}$. Теплофизические свойства масла соответствовали маслу марки «Турбинное масло–Т22». На стенке центральной трубки в пучке (рис. 1) задавалась температура $T_{wall} = T_{oil} - 1$.

Численное моделирование проводилось для диапазона чисел Прандтля $215 \leq Pr \leq 363$, скважности пульсаций $0,25 \leq \psi \leq 0,5$, при этом числа Re и частоты f лежали в диапазоне $100 \leq Re \leq 1000$, $0,2 \leq f \leq 0,5$ Hz, относительная амплитуда $15 \leq \beta \leq 35$.

Варианты пучков соответствуют распространенным в теплообменном оборудовании. [15]

Численное моделирование выполнялось в программе ANSYS Fluent 14.0 методом конечных объемов finite volume method (FVM). Расчет оптимальной сетки произведен по методике, приведенной в работе [13]. При оценке результатов моделирования числа Нуссельта рассчитывались по формуле

$$Nu = \alpha \cdot D / \lambda, \quad (5)$$

где λ – теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; $\alpha = q / (T_{oil} - T_{wall})$ – теплоотдача. Здесь q – тепловой поток, $\text{Вт}/\text{м}^2$ осредненный по поверхности центральной трубки в пучке и за период пульсаций. T_{oil} также осреднялась по всей расчетной области и за период пульсаций.

На рис. 2 показаны зависимости Nu_p/Nu_{st} от Re при различных s_1/D для $\varphi = 90^\circ$. С увеличением Re в диапазоне $100 \leq Re \leq 600$ происходит резкое снижение Nu_p/Nu_{st} независимо от s_1/D , по сравнению с диапазоном $600 \leq Re \leq 1000$, где отношение Nu_p/Nu_{st} меняется незначительно. Увеличение же s_1/D приводит к повышению Nu_p/Nu_{st} . Рассматривая влияние ψ на теплообмен видно, что интенсификация в основном наблюдается при режимах с меньшей ψ .

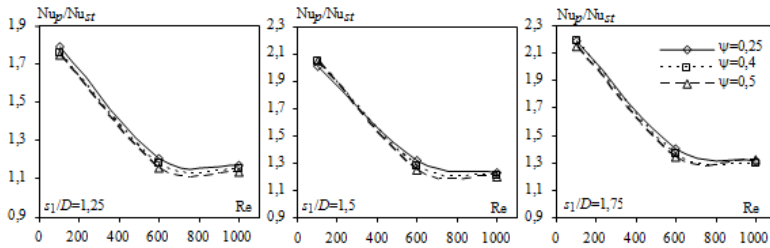


Рис. 2. Зависимость Nu_p/Nu_{st} от Re при $Pr = 215$, $\beta = 15$, $f = 0,5$ Hz, $\varphi = 90^\circ$

По результатам численного эксперимента можно сделать вывод, что повышение числа Pr также как и повышение Re приводит к снижению теплоотдачи при пульсирующем течении по сравнению со стационарным независимо от s_1/D . Также при минимальных β и f наблюдаются значения $Nu_p/Nu_{st} < 1$, что в основном проявляется при приближении к симметричному характеру пульсаций $\psi = 0,5$ и с уменьшением s_1/D .

В результате обобщения данных численного моделирования получено критериальное уравнение следующего вида

$$\frac{Nu_p}{Nu_{st}} = 0,954 Re^{-0,201} \cdot Pr^{-0,211} \cdot \beta^{0,184} \cdot Fo^{-0,230} \cdot \psi^{-0,053} \cdot \varphi^{0,085} \cdot s_1/D^{0,287} \quad (6)$$

где Nu_{st} – числа Нуссельта при стационарном течении можно найти по критериальному уравнению

$$Nu_{st} = 0,354 \cdot Re^{0,6} Pr^{0,33} \varphi^{-0,1} \cdot (s_1/D)^{-0,45} \cdot (\mu_{ж}/\mu_{ст})^{0,14}, \quad (7)$$

Уравнение (6) получено для диапазонов $215 \leq Pr \leq 363$, $0,25 \leq \psi \leq 0,5$, $100 \leq Re \leq 1000$, $15 \leq \beta \leq 35$, $5,81 \cdot 10^{-4} \leq Fo \leq 14,53 \cdot 10^{-4}$. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,906$, максимальная погрешность аппроксимации не более $\delta_{max} = 35,7\%$, среднее отклонение не более $\bar{\delta} = 5,5\%$.

Численным методом исследован теплообмен при поперечном обтекании пучков труб с наложением на поток жидкости низкочастотных пульсаций. Показано, что в зависимости от параметров пульсаций теплоотдача Nu_p/Nu_{st} может быть увеличена до 3 раз.

Установлено, что увеличение β и f приводит к повышению Nu_p/Nu_{st} , а увеличение Re , Pr и ψ к снижению Nu_p/Nu_{st} .

Список литературы

1. Li Hua, Zhong Yingjie, Zhang Xuemei, Deng Kai, Lin Haihao, Cai Luyin. Experimental Study of Convective Heat Transfer in Pulsating Air Flow inside Circular Pipe // International Conference on Power Engineering-2007, October 23-27, 2007, Hangzhou, China. 880-885 P.
2. Jin D.X., Lee Y.P., Lee D.-Y. Effects of the pulsating flow agitation on the heat transfer in a triangular grooved channel // International Journal of Heat and Mass Transfer Vol., 50. 2007. 3062–3071 P.

3. Mikhееv N.I., Molochnikov V.M., Mikhееv A.N., Dushina O.A. Hydrodynamics and heat transfer of pulsating flow around a cylinder // *International Journal of Heat and Mass Transfer* Vol., 109. 2017. 254–265 P.
4. Armin W, Wolfgang P Dynamics of unsteady heat transfer in pulsating flow across a cylinder // *International Journal of Heat and Mass Transfer* Vol., 109, 2017. 1111–1131 P.
5. Amiri S., Taher R., Mongeau L. Quantitative visualization of temperature field and measurement of local heat transfer coefficient over heat exchanger elements in sinusoidal oscillating flow// *Experimental Thermal and Fluid Science* Vol., 633. 2017. 1724–1730 P.
6. Khalil K, Bader A., Awadh A., Ioan P. Mixed convection analysis of laminar pulsating flow and heat transfer over a backward-facing step // *International Journal of Heat and Mass Transfer* Vol., 51. 2008. 5785–5793 P.
7. Moon Jeong Woo, Kim Seo Young, Cho Hyung Hee. Frequency-dependent heat transfer enhancement from rectangular heated block array in a pulsating channel flow // *International Journal of Heat and Mass Transfer* Vol., 48. 2005. 4904–4913 P.
8. Hiroshi Iwai, Tomoyuki Mambo, Naoki Yamamoto, Kenjiro Suzuki Laminar convective heat transfer from a circular cylinder exposed to a low frequency zero-mean velocity oscillating flow *International Journal of Heat and Mass Transfer* Vol. 47. 2004. 4659–4672 P.
9. Musaeva, D.A., Sinyavin, A.A., Gurianov A.I. Mathematical modeling of heat transfer processes under conditions of low-frequency non-symmetric pulsations of fluid flow, *Energy problems*, no. 7–8, 19–27 P.
10. Musaeva, D.A., Gurianov A.I., Sinyavin A.A. Investigation of influence of low-frequency impulses on heat transfer processes with cross-flow in corridor sheave of tubes // *Modern science: researches, ideas, results, technologies*. no. 2 2012, 183–186 P.
11. Wilcox David C. *Turbulence Modeling for CFD*. Third edition copyright 2006 by DCW Industries, Inc. 515 P.
12. You Qin Wang *Turbulence Modeling Applied to Flow Through a Staggered Tube Bundle* // *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*. – 2010. – Vol. 24, № 3. С. 534–543.
13. Khaybullina A.I., Khayrullin A.R., Sinyavin A.A., Ilin V.K. Modeling the turbulence of a pulsating flow of a heat carrier in a corridor bundle of tubes // *Collection of articles of the V All-Russian Scientific Conference "Thermophysical foundations of energy technologies" with international participation, Tomsk, Tomsk Polytechnic University, 2014. 368-372 P.*
14. Khaybullina A.I., Khayrullin A.R., Ilin V.K. Heat transfer in the flow channel in tube bundle corridor type under imposed on the flow liquid of upstream low-frequency asymmetrical pulsations // *Energy Problems*, No.11-12, 2016, 64-75 P.
15. Ramesh K. Dusan P. *Fundamentals of Heat Exchanger Design*. Copyright 2003 John Wiley & Sons, Inc. 931 P.

ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОРИДОРНОГО ПУЧКА ТРУБ В УСЛОВИЯХ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ПОТОКА ЖИДКОСТИ

Хайбуллина А.И.,

старший преподаватель кафедры «Энергообеспечение предприятий и энергоресурсосберегающих технологий», Казанский государственный энергетический университет

Чирухин К.В.

студент кафедры «Энергообеспечение предприятий и энергоресурсосберегающих технологий», Казанский государственный энергетический университет

Аннотация. В работе приведена методика определения теплогидравлической эффективности η пучков труб при пульсирующем потоке теплоносителя. По данным численного моделирования исследовано влияние числа Рейнольдса Re безразмерной амплитуды пульсаций β и числа Струхала Sh на теплогидравлическую эффективность η коридорного пучка труб. Найдены, оптимальные режимы пульсаций соответствующие максимальной η .

Abstract. The method of determining the thermal and hydraulic efficiency η of tube bundles with a pulsating flow is given in the paper. Based on numerical simulation, the effect of the Reynolds number Re of the dimensionless pulsation amplitude β and the Strouhal number Sh on the thermal and hydraulic efficiency η of the corridor bundle of tubes was investigated. The optimum pulsation regimes corresponding to the maximum η are found.

Ключевые слова: теплогидравлическая эффективность, пульсирующие течения, теплоотдача, коридорный пучок труб, коэффициент гидравлического сопротивления.

Key words: thermal and hydraulic efficiency, pulsating flow, heat transfer, corridor tube bundle, coefficient of hydraulic loss.

На сегодняшний день имеются множество работ посвященных исследованию теплообмена и гидродинамики в пучках труб с целью повышения эффективности теплообменного оборудования. [1–10]

В работе [2] численным методом исследован теплообмен колеблющегося цилиндра в потоке жидкости. Безразмерная максимальная частота скорости колебания цилиндра лежала в диапазоне $0,5 \leq V_m \leq 1$, где $V_m = v_m/u_0$, здесь v_m и u_0 максимальная скорость колебания цилиндра, м/с и скорость потока жидкости, м/с соответственно. Диапазон чисел Рейнольдса составлял $100 \leq Re \leq 500$. Замечено, что с увеличением V_m интенсификация теплоотдачи повышается, а с ростом Re понижается. Когда $Re = 200$, $V_m = 0,25$, $V_m = 0,5$, $V_m = 1$ увеличение теплоотдачи составило 10,2 %, 13,3 %, и 21,9 % соответственно. Когда $V_m = 1$, $Re = 100$, $Re = 200$ и $Re = 500$ повышение теплоотдачи составило

17 %, 21,9 %, и 28,7 % соответственно. Максимальное локальное увеличение теплоотдачи по периметру цилиндра наблюдалась в нижней части цилиндра.

В работе [3] экспериментальным методом был исследован теплообмен при поперечном обтекании цилиндра в пульсирующем потоке воздуха. Числа Струхала Sh лежали в диапазоне $0,18 \leq Sh \leq 2,8$, числа Рейнольдса Re $205 \leq Re \leq 822$, амплитуда давлений $40 \leq p \leq 276$, Па. Зафиксировано увеличение коэффициента теплоотдачи в 2,1 раза.

Авторами работы [4] численным методом был исследован теплоотдача полукруглого цилиндра размещенного в горизонтальном канале при вынужденных колебаниях пульсаций потока жидкости. Пульсации имели синусоидальный характер, в качестве рабочей жидкости использовалась вода с числом Прандтля $Pr = 7$, числа Рейнольдса Re лежали в диапазоне $10 \leq Re \leq 100$, числа Струхала $0 \leq Sh \leq 2$, амплитуда колебаний $0 \leq A \leq 0,6$. Максимальное увеличение безразмерного коэффициента сопротивления формы (total drag coefficient) составило 22 %, чисел Нуссельта 10 %. Замечено, что максимальное увеличение теплоотдачи независимо от Re наблюдается при $Sh = 1$.

В работах [5, 6] экспериментальным методом исследовался теплообмен в коридорном пучке труб в условиях пульсирующего потока жидкости. Пульсации потока имели несимметричный характер. В качестве рабочей жидкости использовалась вода $Pr \approx 5,5$. Re лежали в диапазоне $100 \leq Re \leq 500$, частота пульсаций $0,125 \leq f \leq 0,5$ Hz, амплитуда колебаний $1,25 \leq A/D \leq 4,5$. Максимальное увеличение теплоотдачи на 90 % наблюдалось при $Re = 500$, $f = 0,5$ Hz, $A/D = 4,5$.

Для оценки эффективности методов интенсификации при стационарных течениях используется коэффициент теплогидравлической эффективности Кирпичева [7]

$$E = q / N, \quad (1)$$

где q – удельный теплосъем, Вт/м²; N – удельная мощность прокачки теплоносителя, Вт/м²

$$N = \Delta p \cdot v = \xi \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot v = \xi \frac{\rho \cdot v^3}{2},$$

Здесь Δp – перепад давления в пучке труб, Па; v – средняя скорость жидкости в пучке, м/с; ρ – плотность жидкости, кг/м³; ξ – коэффициент гидравлического сопротивления.

Мощность на прокачку теплоносителя в пучке труб при пульсирующем течении осредняется за период пульсации T_p , с

$$N_p = \frac{1}{T_p} \int_0^{T_p} \Delta p_{p(t)} v_{p(t)} dt. \quad (2)$$

где $\Delta p_{p(t)}$ – мгновенные значения перепада давления при пульсирующем потоке в пучке труб, Па; $v_{p(t)}$ – мгновенные значения скорости при пульсирующем потоке, м/с; t – время, с.

Эффективность метода интенсификации также можно оценить с помощью удельного коэффициента теплогидравлической эффективности при условии $Re_p = Re_{st}$ (фактор аналогии Рейнольдсов (ФАР)) [1] в форме

$$\eta = E_p / E_{st} = (Nu_p / Nu_{st}) / (\xi_p / \xi_{st}), \quad (3)$$

где Re_{st} , E_{st} , Nu_{st} , ξ_{st} – числа Рейнольдса, коэффициент эффективности Кирпичева, число Нуссельта и гидравлическое сопротивление в канале со стационарным течением, Re_p , E_p , Nu_p , ξ_p – среднее за период пульсаций числа Рейнольдса, коэффициент эффективности Кирпичева, число Нуссельта и эквивалентное гидравлическое сопротивление в канале при пульсирующем течении.

Рейнольдса для стационарного Re_{st} и пульсирующего течения рассчитывается следующим образом Re_p :

$$Re_{st} = \frac{v_{st} D}{\nu}; \quad (4) \quad Re_p = \frac{v_p D}{\nu}, \quad (5)$$

где D – диаметр трубки пучка, м; ν – кинематическая вязкость, м²/с; v_{st} – средняя скорость потока при стационарном течении по самому узкому сечению в пучке, м/с; v_p – скорость при пульсирующем течении осреднялась за период пульсации T_p

$$v_p = \frac{1}{T_p} \int_0^{T_p} v_{p(t)} dt.$$

Для стационарного течения в пучке труб коэффициент гидравлического сопротивления определялся следующим образом

$$\xi_{st} = \frac{\Delta p_{st} \cdot 2}{\rho v_{st}^3}. \quad (6)$$

где v_{st} – средняя скорость потока при стационарном течении, м/с.

Для пульсирующего потока эквивалентный коэффициент гидравлического сопротивления ξ_p (коэффициент гидравлического сопротивления канала с эквивалентными затратами энергии (мощности) на прокачку теплоносителя с наложением пульсаций) определялся следующим образом

$$\xi_p = \frac{N_p \cdot 2}{\rho v_p^3}, \quad (7)$$

Согласно авторам [8,9] более рационально с практической точки зрения оценивать эффективность методов интенсификации теплообмена по значению

теплосъема с единицы поверхности при равных удельных мощностях, затрачиваемых на преодоление гидравлических потерь $N_{st} = N_p$

$$E_N = \frac{E_p}{E_{st}} \Big|_{N_{st}=N_p} = \frac{Nu_p}{Nu_p} \Big|_{N_{cr}=N_p} = \frac{Nu_p / Nu_{st}}{\left(\xi_p / \xi_{st}\right)^m} \Big|_{Re_{st}} \cdot \quad (8)$$

где m – показатель степени при числе Re в критериальном уравнении для расчета теплоотдачи при пульсирующем течении (уравнение (10)). Таким образом, выражения для коэффициента эффективности при равных удельных мощностях E_N , будет рассчитываться следующим образом

$$E_N = \frac{Nu_p / Nu_{st}}{\left(\xi_p / \xi_{st}\right)^m} \quad (9)$$

Теплоотдача в коридорном пучке труб при пульсирующем течении может быть найдена по следующей зависимости [10]

$$Nu_p = 3,05 \cdot Re_{st}^{0,42} \cdot (\beta Sh)^{0,2}. \quad (10)$$

Здесь число Струхала

$$Sh = \frac{fD}{v_{st}},$$

где частота пульсаций f

$$f = \frac{1}{T_p}, \text{ Hz; } T_p = T_1 + T_2, \text{ с,}$$

где T_p – период пульсации, который состоит из суммы двух полупериодов T_1 – полупериода подачи импульса в межтрубное пространство пучка труб, $T_1 = 0,5$ (const) и T_2 – полупериода сброса давления, T_2 – задается в зависимости от f . Безразмерная амплитуда пульсаций $\beta = A/D$, здесь A обратный ход жидкости в пучке труб, м.

Уравнение (10) справедливо для следующих условий $100 \leq Re \leq 1000$, $0,026 \leq (\beta Sh) \leq 2,6$, $2,6 \leq Re(\beta Sh) \leq 260$, $1,25 \leq \beta \leq 4,5$, при относительном продольным и поперечным шаге трубок в пучке $s_1/D = 1,3$, $s_2/D = 1,3$ и $Pr \approx 5,5$. Коэффициент детерминации составляет ($R^2 = 0,84$).

Предложена методика оценки эффективности при применении пульсаций для повышения теплоотдачи элементов теплообмена.

Приведены показатели удельного коэффициента теплогидравлической эффективности при условии $Re_p = Re_{st}$ η и коэффициента эффективности при равных удельных мощностях затрачиваемых на прокачку теплоносителя E_N для внешнего теплообмена в коридорном пучке при пульсирующих течениях.

Список литературы

1. I.A. Popov, A.B. Yakovlev, A.V. Shelkov, D.V. Rigkov, L.A. Obuhova. Topical methods of heat transfer intensification for heat transfer equipment of heat power engineering // Power engineering of tatarstan. 2011. № 5. P. 25-29.

2. Wu-Shung Fu, Tong Bao-Hong. Numerical investigation of heat transfer from a heated oscillating cylinder in a cross flow // *International Journal of Heat and Mass Transfer* 45 (2002) 3033–3043.

3. Guoneng Li, Youqu Zheng, Guilin Hu, Zhiguo Zhang, Yousheng Xu. Experimental Study of the Heat Transfer Enhancement from a Circular Cylinder in Laminar Pulsating Cross-flows // *Heat Transfer Engineering*, 37(6), 2016, 535–544 p.

4. Neelesh B., Amit K. Pulsating flow and heat transfer analysis around a heated semi-circular cylinder at low and moderate Reynolds numbers // *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* Mar 2017 Vol. 54 40430-017-0749-1 p.

5. Khaibullina A.I., Khairullin A.R., Sinyavin A.A., Ilin V.K. Heat transfer at in-line tube bank under low-frequency asymmetrical impulses impact on fluid flow // *European physical journal*. 2014. № 76. 01004-p.1-01004-p.3.

6. Khaibullina AI, Ilyin VK. Experimental investigation of external heat transfer from tube bundle under condition of low-frequency asymmetrical impulses of fluid cross-flow with reynolds numbers ≤ 500 // *Energy Problems*. 2014, No. 1-2, 11–19 p.

7. I.A. Popov, H.M. Mahyanov. Physical basics and manufacture use of heat transfer intensification. Heat transfer intensification: monograph / und. comm. red. of Gortishev Yu.F. Kazan: Center of innovative technologies. 2009. 560 p.

8. Migai V.K. Modeling of heat-exchange power equipment. L.: Energoatomizdat, 1987, 264 p.

9. Nazmeev Yu.G., Konakhina I.A. Organization of energy technology complexes in the petrochemical industry. M.: Publishing house MPEI, 2001, 364 p.

10. Khaybullina A.I., Khayrullin A.R., Ilin V.K. Heat transfer in the flow channel in tube bundle corridor type under imposed on the flow liquid of upstream low-frequency asymmetrical pulsations // *Energy Problems*, No. 11-12, 2016, 64–75 p.

СЕКЦИЯ № 5

«Инновационные сварочные технологии в промышленности»

Модераторы:

Гортышов Юрий Федорович - Президент КНИТУ-КАИ им.А.Н.Туполева, Заслуженный деятель науки РФ и РТ, Член СПКС при Президенте РФ, д.т.н., профессор

Майданов Леонид Петрович – Заместитель директора ООО «ЦПР «Техносвар», Заслуженный изобретатель СССР

Захаров Сергей Геннадьевич – Главный сварщик-супервайзер-заместитель начальника ОГМ ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина

Куск Олег Геннадьевич – Директор сварочного центра - главный сварщик ПАО «Нижнекамскнефтехим»

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОЛОГИИ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ МИКРОСТРУКТУР ДЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Беляев Алексей Витальевич, Галимов Энгель Рафикович,
Аблясова Алсу Галиевна, Мухаммадеев Ильшат Мансурович
Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ)
420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

Рассмотрены вопросы параметризации микроструктур. Установлены основные факторы, влияющие на параметры однородности и упорядоченности структуры. Проведено моделирование дефектов структуры и определен характер влияния на мультифрактальные параметры.

Issues concerning parameterization of microstructures were considered. The basic factors that affect the parameters of uniformity and regularity of the structure were established. The simulation of defects in the structure was carried out and nature of the effect on the multifractal parameters was determined.

Ключевые слова: сварные соединения, микроструктуры, дефекты, параметризация, твердость.

Важным направлением в машиностроении является совершенствование методов контроля структуры, испытание и определение механических свойств материалов. В настоящее время оценку изменения структуры металлических материалов осуществляют традиционными металлографическими методами, а механических свойств – соответствующими исследованиями. Однако традиционные методы требуют трудоемкой подготовки образцов и многочисленных испытаний, которые можно не проводить, используя методологию параметризации структур. В связи с этим перспективным направлением является установление взаимосвязи механических свойств металлических материалов с результатами параметризации изображений их микроструктуры.

Теория параметризации благодаря дополнительному математическому анализу позволяет оценивать параметры однородности и упорядоченности, характеризующие меру нарушения самоподобия и отражающие геометрическую неоднородность составляющих изображения. Алгоритм анализа успешно реализован в программе «MFRDrom» [1, 2], которую разработал Г.В. Встовский в ИМЕТ им. А.А. Байкова. Отметим, что некоторые вопросы параметризации структур, в том числе для сварных соединений, остаются до конца не изученными. Поэтому актуальную проблему представляют комплексные исследования, направленные на адаптацию методики параметризации структур для оценки свойств различных зон сварных соединений.

Объектами исследования являлись сварные соединения наружных корпусов камер сгорания приводов компрессоров, выполненные из жаропрочной аустенитной стали 10X11H20T2P.

Для получения основных результатов работы применялся ряд методов: механические испытания, спектральный, радиографический и металлографический анализы. Измерения твердости проводились на поверженном стационарном твердомере по Виккерсу. Обработка данных осуществлялась на ЭВМ с программным обеспечением «Abode Photoshop», «GIMP», «JMicro Vision», «MFRDrom» и «MS Office 2016».

Предварительная обработка изучаемых изображений структур заключалась в обработке цифровых изображений с использованием средств компьютерной графики. Для этого из полученных с цифровой камеры фотографий вырезались 8 областей размером 512×512 пикселей симметрично относительно отпечатка индентора, преобразовывались в битовый формат с максимальной контрастностью и разрешением изображения 300 пикселей на дюйм методом диффузии для расчета в программе «MFRDrom». Обработка серии структур заключалась в их загрузке в программу, выборе типа спектра (Canon или Pseudo), количества знаков после запятой, основного цвета структуры, площади покрытия (100 %).

В ходе исследования были получены микроструктуры стали 10X11H20T2P различного увеличения ($\times 100 \div \times 500$), в том числе и панорамные изображения. Для установления характера влияния дефектов подготовки и структуры [3-5] использовалось изображение аустенитных зерен при увеличении $\times 100$, на основе которых проводилась имитация дефектов (следов от шлифования, полирования, трещин и пор).

На рисунках 1 и 2 приведены результаты параметризации аустенитных зерен с трещинами разного размера.

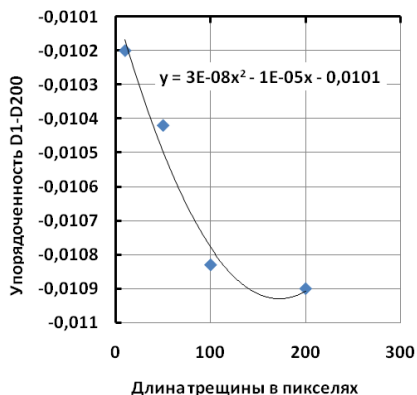


Рис. 1. Зависимость упорядоченности структуры от длины трещины в пикселях

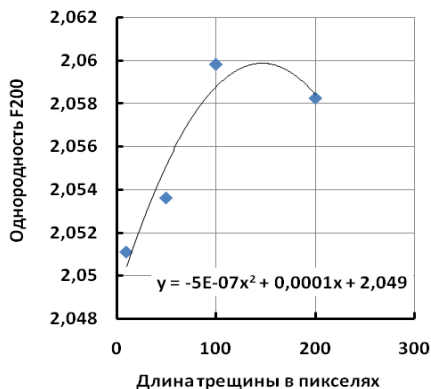


Рис. 2. Зависимость однородности структуры от длины трещины в пикселях

Анализируя полученные и имеющиеся в литературе данные [1, 2], можно сделать вывод, что на упорядоченность и однородность структуры сварного соединения влияет наличие и размер трещин, пор, включений и др. Полученные зависимости показали чувствительность метода параметризации для исследований микроструктур сварных соединений.

Получены аппроксимальные зависимости твердости от параметров упорядоченности, однородности, приращения температуры. Поскольку данные уравнения имеют различную размерность, то после перехода к безразмерным величинам (нормировки) твердость по Виккерсу HV может быть выражена через упорядоченность D_1 - D_{200} , однородность F_{200} и приращение температуры T при одинаковых значениях расстояния от центра сварного шва x .

Решение данных систем уравнений возможно аппроксимацией функций методом нейронных сетей в пакете прикладных программ «MATLAB». Общая последовательность прогнозирования твердости представлена на рисунке 3.

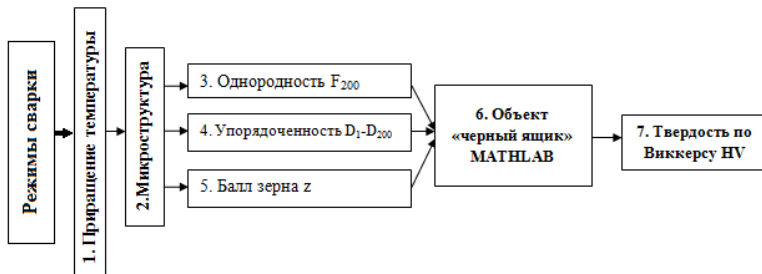


Рис. 3. Общая последовательность прогнозирования твердости

На первом этапе производится задание исходных данных (моделирование структуры или металлография). Далее с помощью программы MFRDrom определяются соответствующие параметры однородности, упорядоченности и балла зерна. С помощью объекта «черный ящик» производится аппроксимация функций. Согласно данной схеме, твердость HV может быть спрогнозирована изначально путем расчета приращения температуры, либо вычислена на основе параметризации микроструктуры, полученной на микроскопе, сканере и т.п. Прогнозирование твердости может быть также проведено нормировкой функций, составлением матрицы планирования полного факторного эксперимента, оценкой однородности дисперсий функции отклика и вычислением коэффициентов полинома математической модели.

Адаптация метода параметризации структур для исследования сварных соединений заключалась в выявлении особенностей подготовки изображений микроструктур (различных баллах зерна для сварного шва, зоны термического влияния и основного металла, различной ориентации зерен после шлифования и травления, наличия дефектов сварных соединений).

Проведение подобного анализа может быть полезным для прогнозирования твердости на участках металла деталей машин, где по каким-либо причинам невозможно определение твердости методами механических испытаний или необходимо восстановление ее значения на неизмеренных участках.

Таким образом, метод параметризации структур апробирован к исследованию микроструктур сварных соединений, изготовленных из сталей аустенитного класса, а именно, исследованы и разработаны методики получения и обработки изображений микроструктур сварных соединений для расчета параметров однородности и упорядоченности.

Список литературы

1. Встовский Г.В. Введение в мультифрактальную параметризацию структур материалов / Г.В. Встовский, А.Г. Колмаков, И.Ж. Бунин // Ижевск: Научно-издательский центр «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. - 116с.
2. Анваров А.Д. Методика оценки ресурса безопасной эксплуатации оборудования химических производств на основе методологии мультифрактальной параметризации. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2006. – 21 с.
3. Беляев А.В. Влияние подготовки изображений на результаты параметризации структур сварных соединений из сталей аустенитного класса [Текст] / Э.Р. Галимов, А.Г. Аблясова, А.С. Маминов, С.В. Курынцев, А.В. Беляев // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2011, №3 (63). – С. 18-21.
4. Беляев, А.В. Методы прогнозирования свойств сварных соединений [Текст] / Э.Р. Галимов, А.В. Беляев, Л.В. Сироткина // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та (КНИТУ-КАИ), 2015. №6 (82). – С. 84 – 87.
5. Shveyov A.I., Shveyova T.V., Galimov E.R., Sharafutdinova E.E., Belyaev A.V., Sirotkina L.V. Method of predicting of hardness of welded joints. International Journal of Applied Engineering Research. Vol. 11, № 3 (2016), pp. 1603-1608.

ТЕПЛОВЫЕ РАСЧЕТЫ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Беляев Алексей Витальевич, Галимов ЭнгельРафикович,
Аблясова Алсу Галиевна, Низамов Риназ Азатович,
Новиков Алексей Владимирович
Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ)
420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

Показывается возможность моделирования структуры на основе расчета тепловых полей сварных соединений, протекающих при аргонодуговой сварке приводов компрессоров, изготовленных из сталей аустенитного класса. Тепловой расчет рекомендован для производства как инструмент для предотвращения дефектов сварки.

The possibility of modeling of austenitic steels' structure based on the calculation of thermal fields of welds occurring during TIG welding of compressor drive was shown. The thermal calculation is recommended for production as a tool to prevent welding defects.

Ключевые слова: расчеты, температура, сварные соединения, измерения, твердость.

При исследовании тепловых процессов, протекающих при сварке[1], и их количественной оценки, например, при определении термических циклов сварки, скоростей охлаждения, размеров зон термического влияния используются уравнения и формулы, базирующиеся на общем уравнении теплопроводности. Однако, часто характер теплового воздействия при сварке, условия распространения теплоты и теплоотдачи от свариваемых деталей сложны и неопределенны, что расчетное определение становится затруднительным или неоправданным ввиду неточности [2, 3]. Экспериментальные методы [4] определения температур при сварке имеют определенные преимущества перед расчетными, но и они не лишены недостатков (возможности получения и анализа закономерностей). Правильным следует считать подход, при котором используются оба метода, а решение об их использовании принимается в зависимости от постановки тепловой задачи.

Объектами исследования являются сварные соединения наружных корпусов камер сгорания приводов компрессоров газоперекачивающих станций, изготовленные из жаропрочной стали 10X11H20T2P. При их производстве применяется аргонодуговая сварка на следующих режимах: полярность прямая, сила сварочного тока $I_{св} = 160 \pm 20$ А, скорость сварки $V_{св} = 15,6 - 18$ м/ч, электрод вольфрамовый иттрированный диаметром $d_s = 4$ мм. В качестве основной защиты сварного шва применяется гелий Б по ТУ 51-940-80 с расходом 20 – 30 л/мин, аргон первого или высшего сорта – 10 – 15 л/мин, а для корня шва – аргон первого или высшего сорта по ГОСТ 10157-79.

Исследование распределения температуры предельного состояния по сечению сварного соединения позволяет проводить моделирование структурного состояния, полученного при охлаждении после сварки, используя диаграммы состояния, сопоставляя изотермы и структуры соответствующих участков. Расчет теплового поля проводился по известным методикам в дополнение к методу параметризации структур для прогнозирования структуры и твердости.

Тройная диаграмма состояния железо-хром-никель при заданном содержании углерода показана на рис. 1. На ней указаны положения структурных составляющих при быстром охлаждении из области наибольшего распространения аустенита.

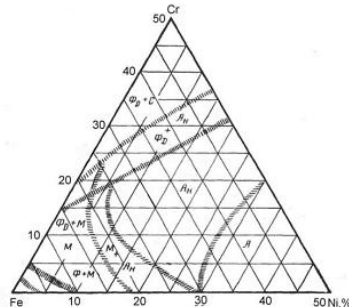


Рис. 1. Диаграмма состояния системы железо-хром-никель при постоянном содержании углерода (0,10% С)

Уравнение приращения температур в пластине в стадии теплонасыщения:

$$\Delta T_{np} = \frac{q}{2\pi\lambda\delta} e^{-Vx/(2a)} K_0 \left(\frac{Vr}{2a} \sqrt{1 + \frac{4ba}{v^2}} \right),$$

где K_0 – функция Бесселя 1-го рода нулевого порядка, q – тепловая мощность, δ – толщина пластины, r – расстояние до рассматриваемой точки от начала координат, a – температуропроводность, λ – коэффициент теплопроводности, t – время, b – коэффициент теплоотдачи, V – скорость сварки.

Исходные данные для расчета выбраны следующие: материал – сталь 10X11H20T2P, теплофизические коэффициенты ($\lambda = 0,29$ Вт/ (см² · К), $c_p = 4,75$ Дж/ (см³ · К), $\alpha = 0,06$ см²/ с), эффективность (КПД) – 0,85. За начало отсчета температуры принималась исходная температура тела и окружающей среды. Температура по толщине листа равномерна, а теплота распространяется только в плоскости детали. Тепловой расчет проводился при условии конвективного теплообмена. По выбранному режиму сварки требовалось: 1) построить температурное поле предельного состояния; 2) найти распределение максимальных температур в зависимости от расстояния от оси шва.

Листы толщиной 2,5 мм варят встык без скоса кромок при зазоре между листами 1 мм. Применяются электроды диаметром 4 мм.

Для построения температурного поля предельного состояния, соответствующего выбранному режиму сварки, используем схему мощного быстродвижущегося линейного источника в пластине с теплоотдачей.

Построены кривые распределения температуры поперек шва в зависимости от расстояния y_0 от оси шва от 0 до 5,0 см для моментов времени t от 1 до 36 сек после прохождения центра дуги через данное сечение. На рисунке 2 по оси абсцисс отложено расстояние y_0 от оси шва, а по оси ординат – расчетные температуры в соответствующий момент времени t . Распределение температуры в определенные моменты времени $t = \text{const}$ представлены плавными кривыми – изохронами температуры.

Для построения изотерм температурного поля предельного состояния откладываем на оси абсцисс расстояния $-x = vt$, на которых дуга, движущаяся со скоростью V , удаляется от рассматриваемого сечения за время t . Для выбранного режима $-x = 0,43t$. По оси ординат откладываем расстояние y_0 от оси шва.

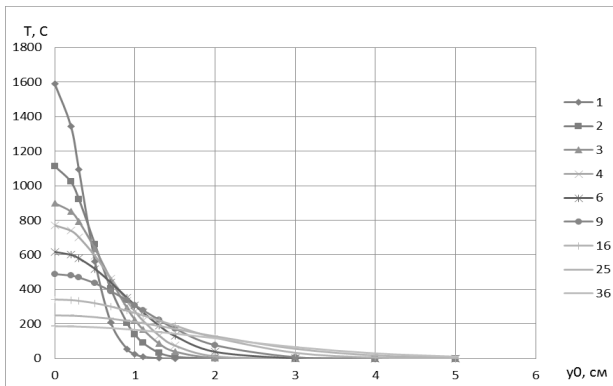


Рис. 3. Расчет температуры при сварке встык листов 2,5 мм; кривые распределения температуры по оси ОУ в разные моменты времени

Тепловой режим сварки во многом определяет структуру и механические и эксплуатационные свойства сварных соединений.

Исследуемая жаропрочная аустенитная сталь 10X11H20T2P(ТЗР) отличается высоким коэффициентом теплового расширения, малой теплопроводностью ($\approx 0,25$ Вт/(см · К)) и высокой релаксационной стойкостью при высоких температурах, что приводит к возникновению высокого уровня напряжений и деформаций при сварке, отпуске и в условиях теплосмен [5].

Зная распределение температуры при сварке в различные моменты времени и на различном удалении от центра сварного шва для конкретной марки стали, можно проводить прогнозирование структуры металла сварного соединения. Предварительный расчет температуры металла при сварке позволяет избежать нежелательных дефектов, таких как перегрев металла,

горячие трещины. Для верификации данных, полученных расчетным путем при решении тепловых задач различной сложности в сварке, широко используются экспериментальные методы. В их ряду как простые и быстрые (термокарандаши и термокраски), так и сложные системы, построенные на основе многозарядных АЦП и специализированных компьютеров. Экспериментальные методы могут быть успешно применены для измерения температуры в зоне термического влияния при определении ее ширины, скоростей охлаждения различных зон сварного соединения и др.

Таким образом, проведен расчет температурных полей при аргонодуговой сварке наружного корпуса камеры сгорания привода компрессора газоперекачивающей станции, изготовленного из аустенитной стали 10X11H20T2P. Установлена зависимость температуры при сварке от расстояния до центра сварного шва. Сопоставляя диаграммы состояния, температуры и удаленность конкретного участка от центра можно прогнозировать структурное состояние сварного соединения в любой точке, а следовательно и его механические свойства, например, твердость во Виккерсеу [6, 7].

Список литературы

1. Козловский С.Н. Введение в сварочные технологии. – СПб.: Издательство «Лань», 2011. – 416 с.
2. Багрянский К.В., Добротина З.А., Хренов К.К. Теория сварочных процессов. – М.: Высшая школа, 1976. – 424 с.
3. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / А.В. Коновалов, А.С. Куркин, Э.Л. Неровный, Б.Ф. Якушин; Под ред. В.М. Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.
4. Теория сварочных процессов: Учеб. для вузов по спец. «Оборуд. и технология сварочн. пр-ва»/В.Н. Волченко, В.М.Винокуров и др.; Под ред. В.В. Фролова. – М.: Высш. шк., 1988. 559 с.: ил.
5. Сварка и свариваемые материалы: В 3-х т. Т. II. Технология и оборудование. Справ. изд./Под ред. В.М. Ямпольского. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1996. 574 с.
6. Shveyov A.I., Shveyov I.A., Shveyova T.V., Shveyova E.I., Galimov E.R., Sharafutdinova E.E., Belyaev A.V. Prediction of the Structural State of Powder Steels by Multifractal Parameterization. *Biomedical & Pharmacology Journal*. Vol. 8(1), 2015, 35 – 38.
7. Shveyov A.I., Shveyova T.V., Galimov E.R., Sharafutdinova E.E., Belyaev A.V., Sirotkina L.V. Method of predicting of hardness of welded joints. *International Journal of Applied Engineering Research*. Vol. 11, № 3 (2016), pp. 1603-1608.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ ЧУГУНОВ С ВЕРМИКУЛЯРНЫМ ГРАФИТОМ

Звездин Валерий Васильевич,
Клочкова Ксения Валерьевна,
Рахимов Радик Рафисович,
Саубанов Рузиль Рашитович,

Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного
автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский
(Приволжский) федеральный университет»

Песошин Валерий Андреевич.

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.

Туполева-КАИ

e-mail: rafisih88@mail.ru, irmaris@yandex.ru

***Аннотация.** Изложены особенности лазерной сварки чугунов с вермикулярным графитом. Предложен подход, позволяющий снизить остаточные напряжения и вероятность возникновения «горячих» трещин в сварном шве, а также повысить коэффициент поглощения лазерного излучения за счет применения металлического порошка Ni-Cr-B-Si-Fe, BoroTec - Eutalloy® 10009 - хромоникелевый сплав. Даны рекомендации при проведении сварки чугунов с вермикулярным графитом.*

***Abstract.** Features of laser welding of cast irons with vermicular graphite are described. An approach is proposed that allows to reduce residual stresses and the probability of occurrence of "hot" cracks in the weld seam, as well as to increase the absorption coefficient of laser radiation due to the use of metal powder Ni-Cr-B-Si-Fe, BoroTec-Eutalloy® 10009-chromium-nickel alloy. Recommendations are given when welding cast iron with vermicular graphite.*

***Ключевые слова:** лазерная сварка, чугуны с вермикулярным графитом, позиционирование фокуса лазерного излучения, высокоэнергетическая технология, лазерный технологический комплекс.*

Введение. Чугуны с вермикулярным графитом (ЧВГ) становятся все более востребованными в машиностроении. Они заменяют серые чугуны, за счет их уникальных физико-механических характеристик, экономичности при литье, технологичности при изготовлении деталей с высокими механическими свойствами.

В настоящее время не разработаны прогрессивные технологические процессы (ТП), в том числе и лазерная сварка (ЛС). Поэтому задача по лазерной сварке ЧВГ, обеспечивающей получение сварного шва с заданным качеством, с повышенными физико-механическими свойствами и эксплуатационными характеристиками, является актуальной.

При системном подходе к обработке ЧВГ, который является формой интеграции научных знаний в области лазерных технологий, необходимо рассматривать комплекс задач. Это температурные режимы, скорости нагрева и

охлаждения свариваемого изделия, газовую среду, в которой происходит сварка и её расход [1], а также позиционирование лазерного излучения (ЛИ) относительно стыка свариваемых деталей [2]. Решение поставленных вопросов, конкретизация параметров ТП, позволит обеспечить успешное выполнение требуемого качества ЛС.

Процесс сварки. Одной из необходимых стадий процесса лазерной сварки является предварительная подготовка свариваемых поверхностей [3]. Загрязнения и влага создают условия для образования пористости, оксидных включений, а в некоторых случаях и холодных трещин в сварном шве чугуна и зоне термического влияния за счет насыщения водородом и высокой скорости охлаждения. После зачистки поверхностей детали обезжировались.

На рисунке 1 показана микроструктура шва при высокой скорости охлаждения, сварка проводилась в среде аргона (сверху шва) и гелия (снизу шва).



Рис.1. - Общий вид сварного шва пластин ЧВГ 30 (слева) и ЧВГ 35, увеличение $\times 50$, (шлиф травлен).

Исследование микроструктуры проводилось в сечении поперечного микрошлифа относительно сварного шва пластин. В сварном шве выявлено наличие «горячих» трещин.

Микроструктура чугуна пластин оценивалась в соответствии со шкалами ГОСТ 3443-87, идентична и представляет собой по графиту:- форма включений графита – шаровидная правильная ШГф5 и извилистая ВГф2;

Микротвёрдость пластины составляет:

- феррит в основном металле пластины – 170 HV0,05;
- перлит пластинчатый в основном металле пластины - 260 HV0,05;
- мартенсит в ЗТВ – 670 - 702 HV0,05;
- сварной шов – 524 – 570 HV0,05.

Влияние расхода инертного газа аргона можно наблюдать по шероховатости поверхности шва (рис. 2,3). Из рисунков видно, что нарушение номинальных параметров ТП приводит к повышению шероховатости. Это объясняется тем, что увеличение расхода аргона приводит к образованию турбулентных потоков и смешению его с воздухом. Водород и кислород приводят к вспучиванию сварного шва [4]. Остальные технологические параметры были одинаковы.

При этом происходит активное взаимодействие металлов с окружающей газовой средой, присутствующей и в зоне стыка двух металлов из-за шероховатости поверхностей. Лазерная сварка образцов производилась на ЛТК, на базе иттербиевого волоконного лазера «ЛС 2». Поверхности шва от

окисления защищались смесью гелия с аргоном в соотношении 2:1, подаваемой через специальное сопло. Для повышения коэффициента поглощения на поверхность стыка наносился металлический порошок Ni-Cr-B-Si-Fe, BoroTec - Eutalloy® 10009 - хромоникелевый сплав с флюсом АН-43, с оптимальным содержанием марганца, кремния и других легирующих элементов, а также ограниченным содержанием серы и фосфора.

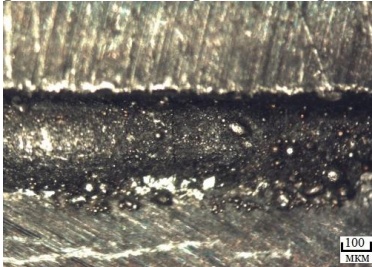


Рис.2. – Внешний вид поверхности сварного шва пластин ЧВГ 35 и ЧВГ 30, при номинальном расходе аргона, увеличение $\times 75$



Рис.3. – Внешний вид поверхности сварного шва пластин ЧВГ 35 и ЧВГ 30, при повышенном расходе аргона, увеличение $\times 75$

Для оценки глубины проплавления можно использовать формулу (1):

$$h = \frac{P}{2\pi\lambda_{\Gamma}T_{\kappa}} \ln \frac{r_{\text{н}} + a/v_{\text{св}}}{r_{\text{п}}}, \quad (1)$$

где λ_{Γ} -коэффициент теплопроводности материала, Вт/мК ; T_{κ} - температура кипения, К ; a - коэффициент температуропроводности материала [1].

При начальном взаимодействии ЛИ с поверхностью металла эффективность полезного использования энергии ЛИ зависит от соотношения отраженного и поглощенного излучения. Отраженная часть, как правило, безвозвратно теряется, другая часть практически полностью поглощается электронами в приповерхностном слое толщиной $10^{-6} \div 10^{-7}$ м. Вследствие этого электронная температура T_e резко повышается, а температура кристаллической решетки $T_{\text{кр.р.}}$ остается незначительной. Со временем интенсивность передачи энергии свободных электронов кристаллической решетки повышается. Начиная со времени релаксации ($\tau_p = 10^{-9} \div 10^{-11}$ с) разность температур ($T_e - T_{\text{кр.р.}}$) становится минимальной и тепловые процессы в металле можно характеризовать общей температурой. Комплексной характеристикой теплофизических свойств металла является коэффициент температуропроводности, который в целом характеризует скорость выравнивания температуры при нестационарной теплопроводности. Этот коэффициент определяет, с какой скоростью в металле происходит передача энергии.

Выводы. Для исключения «горячих» трещин необходимо соблюдать температурные режимы нагрева и охлаждения свариваемых деталей, а также

расход инертного газа. Не допускать попадания влаги и воздуха в сварной шов. Использовать ультразвуковые колебания при сварке [6].

Литература

1. Григорьянц А. Г., Шиганов И. Н., Мисюров А. И. Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. Пособие для вузов/ Под ред. А. Г. Григорьянца. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. — 664 с.: ил.
2. Позиционирование лазерного излучения относительно сварного шва как показатель качества технологического процесса / В. В. Звездин, А. В. Хамадеев, Р. Г. Загиров, И. Р. Шангараев // Вестник КГТУ им. Туполева, 2008. — № 3. — С.17-21.
3. Laser technology control of tool hardening and deposition welding // Khisamutdinov R.M., Zvezdin V.V., Saubanov Ruz. R., Klochkova K.V. / Journal of Advanced Research in Technical Science, North Charleston, USA: SRC MS, Create Space. – 2016. – Issue 3. P. 89-95.
4. Automatic control system of high-precision welding of preparations by the laser radiation at influence of the plasma torch // Zvezdin V.V., Israfilov D.I., Portnov S.M., Saubanov R.R., Rakhimov R.R., Zvezdina N.M. / Известия высших учебных заведений. Физика. 2015. Т. 58. № 9-3. С. 51-54.
5. A system for automatic control of precision laser welding in engineering Grigoryants A.G., Perestoronin A.V., Portnov S.M., Zvezdin V.V., Israfilov I. Welding International. 2015. Т. 29. № 10. С. 801-804.
6. Исследование влияния ультразвуковой ударной обработки на значение и распределение остаточных напряжений в сварной заготовке // Вагапов И.К., Ганиев М.М., Шинкарев А.С. / Известие вузов. Авиационная техника. 2005. № 2. С.56-59.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СВОЙСТВ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ И ЕГО ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКЕ

Колесников Д.Н
Солопова Е.А.
Петров Р. В.

Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ)
г.Казань ул. Карла Маркса, 10
Dmitry_kolesnikov1995@mail.ru
solopovae@yandex.ru
roman_petrov28@mail.ru

Введение: При автоматических операциях обеспечивающих высокую производительность процесса немаловажную роль играет отработка технологии позволяющая уменьшить количество брака при производстве и уменьшить

экономические потери предприятия. В данной работе рассмотрены методы, позволяющие расчётным образом определить параметры сварного соединения, а также данные исследования проведенного на реальных образцах.

Introduction: In automatic operations that provide a high-performance process, an important role is played by developing technology that reduces the amount of reject during production and reduces the economic losses of the enterprise. In this paper, we consider methods that make it possible to calculate the parameters of a welded joint in a calculated manner, as well as the data of a study carried out on real samples.

Ключевые слова: Лазерная сварка, лазер, микроструктура, сварочный шов.

Сварка металлов является металлургическим процессом при котором процессы происходящие между свариваемыми деталями можно разделить на два типа в первом типе соединение осуществляется без перехода металлов в жидкую фазу вследствие чего процесс происходит за счёт пластической деформации или диффузии в твёрдой фазе, ко второму типу отнесем сварку при которой образуется общая сварочная ванная в которой и происходит перемешивание металлов свариваемых кромок и в некоторых случаях присадочного металла, ко второму типу и относится лазерная сварка, при которой мощность источника не только расплавляет металла но также происходит к интенсивному его испарению и образованию парогазового канала. Поведение материала при лазерной сварке исследуется уже довольно давно и выработаны определенные формула расчёта, которые позволяют оценить проплавление в металл ширину и форму сварочного шва. Сварные соединения выполненные при помощи источника лазерного излучения позволяют получить соединения высокого качества для большой номенклатуры сталей и различных сплавов. Преимуществом лазера является наибольшая удельная плотность энергии, что позволяет получить глубокое проплавление без использования скоса кромок что экономит свариваемый металл и позволяет минимизировать тепловложение в материал уменьшает зону термического влияния. В работе [1] на опыте установлены зависимости геометрии шва в зависимости от мощности источника фокусировки луча и скорости процесса. На (Рис1) видно что ширина сварного соединения имеет не симметричную двояковогнутую форму т.е. в середине наблюдается наименьшая ширина. Замерив ширину шва в трёх точках в верхней, средней и корневой части, в работе [1] было обнаружено что они изменяются незначительно, что говорит о довольно стабильном процессе сварки. Отличия геометрии поперечного сечения сварного соединения могут быть вызваны как ликвацией, так и погрешностью оборудования. Также на (Рис.1) видно что верхняя часть шва имеет ширину большую в сравнении с остальной частью, что является результатом образования плазмы из паров металлов и газа, образующихся в результате сварки источником с высокой плотностью энергии, из-за чего происходит расфокусировка луча.

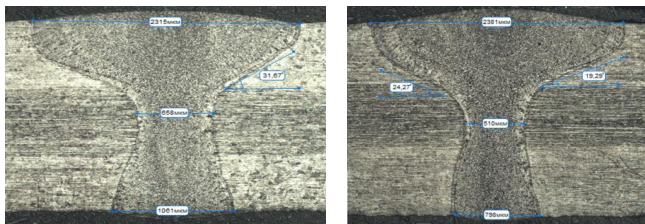


Рисунок 1. Сварные соединения, полученные при помощи лазерной сварки. [1]

Определение параметров сварного соединения также можно определять при помощи специально разработанных программ которые позволяют без проведения опытов найти приблизительные параметры которые в последствии уже будут корректироваться в реальном опыте, но без использования программного обеспечения этот процесс занял намного больше времени т.к. математический расчёт позволяет получать результаты с некоторой вероятностью без потери времени на производство самой операции сварки, время расходуется только на создание первичного образца. Таким образом, в работе [2] приведенные формулы, которые могут быть использованы для математического расчёта и построения графиков исходя, из которых уже будут выбираться режимы сварки. В данной работе представлены математические модели поведения парогазового канала. Так на (Рис.2) показано поведение парогазового канала, и поведение жидкой металлической фазы Рис(3).

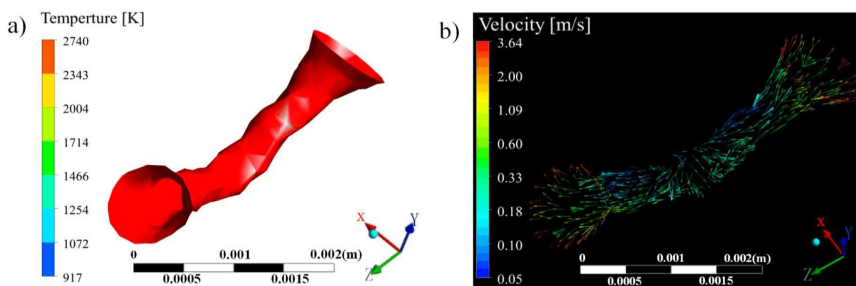


Рисунок 2. Математическая модель поведения парогазового канала при двухсторонней лазерной сварке таврового соединения. [2]

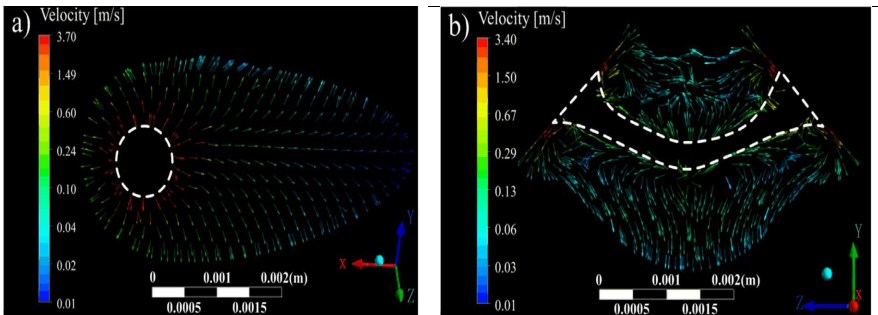


Рисунок 3. Математическая модель поведения расплавленного металла при двухсторонней лазерной сварке таврового соединения. [2]

Не менее интенсивно происходит изучение кристаллического строения сплавов получившихся в результате сварки лазерным лучом. Изучение микроструктуры (Рис. 4) позволит предсказать механические характеристики, и обеспечить необходимую прочность сварной конструкции. Одним из методов прогнозирования твёрдости, является метод фрактальной параметризации в котором, анализируя различные параметры зерен и их взаимного влияния можно с большой точность прогнозировать значение твёрдости с точностью до 97%. [4]

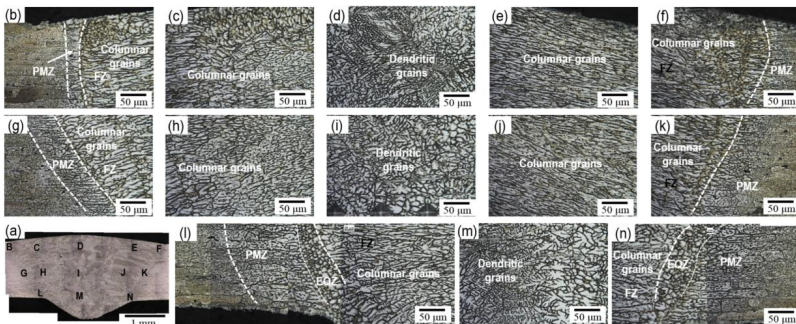


Рисунок 4. Микроструктура сварного соединения полученного при лазерной сварке Al-Li сплава. [3]

Вывод: Лазерный луч как источник энергии для сварки является весьма актуальной темой, что можно судить по наличию большого количества работ посвященных этой теме, говорит не только о научном интересе в данном вопросе, но и том что, сварка лазерным лучом получит большее применение в промышленности.

Список литературы

1. Курынецв С.В., Шиганов И.Н., Исхаков Ф.Р., Гильмутдинов А.Х. Контроль параметров ванны расплава при лазерной сварке с использованием скоростной видеокамеры // Научные технологии в машиностроении. 2017. № 3. С. 31 – 37.
2. Zhibin Yang, Wang Tao, Liqun Li, Yanbin Chen, Chunyuan Shi, Numerical simulation of heat transfer and fluid flow during double-sided laser beam welding of T-joints for aluminum aircraft fuselage panels, In Optics & Laser Technology, Volume 91, 2017, Pages 120-129, ISSN 0030-3992, <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2016.12.018>.
3. Jie Ning, Lin-jie Zhang, Qing-lin Bai, Xian-qing Yin, Jing Niu, Jian-xun Zhang, Comparison of the microstructure and mechanical performance of 2A97 Al-Li alloy joints between autogenous and non-autogenous laser welding, In Materials & Design, Volume 120, 2017, Pages 144-156, ISSN 0264-1275, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.02.003>.
4. Прогнозирование твердости сварных соединений [Текст] / Р.А. Низамов, Д.Ю. Лаврентьев, Д.Н. Колесников // Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли: Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием, 10 – 12 августа 2016 г.: Сборник докладов. Том 1. – Казань: Изд-во Академии наук РТ, 2016. – Т. 1. с. 785 - 789.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ НА ОСНОВНОЙ И ПРИСАДОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ ПРИ СВАРКЕ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ И СРАВНЕНИЕ С ДУГОВЫМИ СПОСОБАМИ

Колесников Д.Н.
Пискунов Е.Д.
Ерахмадов С.Н.

Казанский национальный исследовательский технический университет имени
А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ)
Dmitry_kolesnikov1995@mail.ru
zheny-stalker@yandex.ru
sievush_97@mail.ru

Введение: В данной работе рассмотрены способы лазерной сварки высоколегированных сталей и возможность замены (дуговой сварки) на сварку при помощи лазерного источника, с рассмотрением образовавшихся структур сложности при сборке и производительности

Introduction: In this paper, we consider methods for laser welding of high-alloy steels and the possibility of replacing (arc welding) for welding with a laser source,

with consideration of the resulting structures of difficulties in assembly and productivity

Ключевые слова: Лазер, сварка, лазерно-дуговая сварка.

Сварка высоколегированной стали является непростой задачей из-за деформаций при сварке и образования структур способствующих появлению горячих и холодных трещин, межкристаллитной коррозии, всё это накладывает свои ограничения на технологию сварки. Лазерная сварка показывает хорошие показатели при небольших толщинах (Рис.1), как видно из рисунка сварное соединение, полученное при помощи лазерного источника имеет небольшую ширину, и ЗТВ, что позволяет уменьшить остаточные напряжения при сварке которые для аустенитных сталей являются весьма значительными. Вследствие термического расширения большой зоны ЗТВ вызывают пластические деформации и в последствии при охлаждении вызывает остаточные растягивающие напряжения которые складываются с напряжениями, образованными в результате перехода расплавленного металла в кристаллическое состояние в кристаллизации сварного шва, что при превышении предела текучести и исчерпания запаса пластичности может привести к хрупкому разрушению даже сталей с высокой пластичностью. На (Рис. 2) показано распределение твёрдости сварном образце (Рис. 1) , где видно что твёрдость шва принимает промежуточное значение, резкое изменения твёрдости в области полученного аддитивными методами элемента вызвано внутренними напряжениями в результате спекания частиц и его химического состава. Так же показано, что в шве возможно образование пор из-за быстрого затвердевания, вследствие чего поры не успевают всплыть на поверхность, но этого можно избежать правильным подбором режима сварки, возможно не дать порам образоваться.

К недостаткам лазерной сварки можно отнести высокую цену лазерных источников большой мощности, необходимых для сварки больших толщин, требование к подготовке свариваемых кромок, что вызвано очень небольшим пятном нагрева из-за чего большая часть энергии будет израсходована впустую.

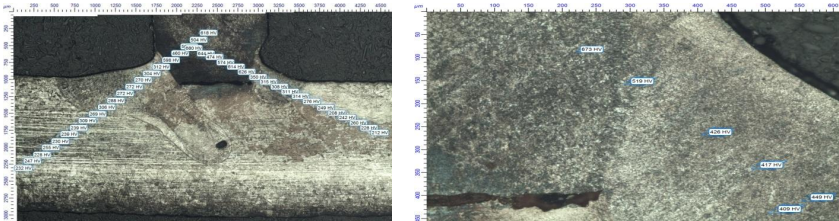


Рис.1. Сварное соединение стали 12X18H10T полученное при помощи лазерной сварки, правая часть – 1200Вт, левая – 900Вт

Возможно совмещение лазерной сварки с дуговой, где лазерный луч направляется в сварочную ванну и увеличивает проплавление, так же лазерный луч способствует ионизации дугового промежутка, что хорошо сказывается на

стабильности горения дуги. Таким образом, уменьшается требования к подготовке кромок, увеличивается суммарный КПД процесса.

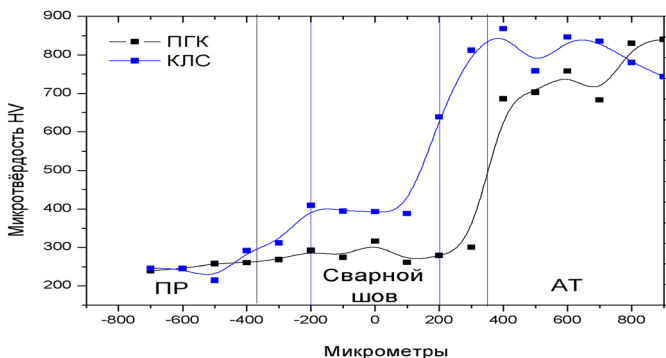


Рисунок 2. График распределения твердости в сварном соединении полученным при помощи лазерной сварки, сваривалась сталь 12Х18Н10Т и материал полученный при помощи лазерного спекания.

Список литературы.

1. Список литературы. Курынецв С.В., Шиганов И.Н. Современные тенденции лазерной сварки Обзор часть 1 // Научно-технические достижения в машиностроении. 2015. № 6. С. 35 – 42.
2. Курынецв С.В., Шиганов И.Н. Современные тенденции лазерной сварки Обзор часть 2 // Научно-технические достижения в машиностроении. 2015. № 9. С. 15 – 20.

АДАПТАЦИЯ СОДЕРЖАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ДИАГНОСТИКА И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ» К ТРЕБОВАНИЯМ ФГОС ВПО 3+

Муратаев Фарид Исакович

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н.Туполева, 420111, г. Казань, К. Маркса, 10

Аннотация. Приведены данные: об объеме дисциплины, распределение фонда времени по семестрам, и видам занятий, содержание тем дисциплины в рамках теоретических и практических занятий (в т.ч. лабораторных работ). Сведения о формировании у студентов знаний, практических навыков установления критериев качества сварных соединений (СС), идентификации типовых признаков производственных и эксплуатационных дефектов и умения определять их работоспособность методами разрушающего и неразрушающего

контроля на основе широкого использования основ металлографии и способности противостоять коррозии.

The data are given: the volume of the discipline, the distribution of the time fund for semesters, and the types of classes, the content of the subjects of the discipline in the framework of theoretical and practical studies (including laboratory works). Information on the formation of students' knowledge, practical skills of establishing quality criteria for welded joints (SS), identification of typical signs of production and operational defects, and the ability to determine their performance by destructive and non-destructive testing methods based on extensive use of the foundations of metallography and the ability to withstand corrosion.

Ключевые слова: знания и навыки о диагностике сварных соединений

Дисциплина «Диагностика и контроль качества сварных соединений» входит в состав Вариативного модуля Блока 1 подготовки студентов в квалификационном бакалаврском цикле по направлению: 15.03.01 «Машиностроение» и профилю подготовки: «Оборудование и технология сварочного производства».

Основной целью обучения является формирование у студентов знаний и практических навыков установления критериев качества сварных соединений (СС), идентификации типовых признаков производственных и эксплуатационных дефектов. Умения определять их работоспособность методами разрушающего и неразрушающего контроля на основе широкого использования основ металлографии для согласования структуры и свойств и способности СС противостоять коррозии в эксплуатации.

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- определение физической сущности и типовых признаков деградации структуры и свойств сварных соединений, обусловленных производственной и эксплуатационной наследственностью металла;

- эффективное использование результатов анализа НДС элементов техники и конструкций, сварочных напряжений, закономерностей структуры и свойств

- материалов и данных их фактического состояния в задачах диагностики;

- освоение основ теории и практики рентгеновского, радиационного, магнитного, акустического, капиллярного методов контроля;

Содержательная часть дисциплины общей трудоемкостью 360 часов

состоит из двух разделов: раздел 1 - «система обеспечения качества сварных соединений», раздел 2 – «диагностика, контроль качества сварных соединений», соответственно: 108 и 252 часа в 7 и 8 семестрах. Состоит из следующих видов аудиторной учебной работы: лекции, практических занятий (ПЗ) и лабораторных работ. Для оценки эффективности освоения студентами необходимых знаний и навыков, используются методы и способы аттестации: отчеты по лабораторным работам, ПЗ и самостоятельной работе, а также успешное выполнение и сдача соответствующих «ФОС ТК» (в виде тестов) и «ФОС ПА (в виде экзаменов)».

Решение этих задач обеспечивается успешным освоением студентами следующих профессиональных компетенций (ПК).

По варианту компетенции ПК-11, требующей от бакалавра освоения способности: уметь применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов в машиностроении и разрабатывать мероприятия по их предупреждению. В рабочей программе дисциплины (РПД) сформулированы следующие три условия.

- Знание методов разрушающего и неразрушающего контроля СС изделий и объектов и методов анализа последствий, связанных с нарушением технологии сварки в машиностроении.

- Умение обосновывать применение контроля качества сварных соединений изделий и объектов и методов анализа нарушений технологических процессов сварки в машиностроении.

- Владение навыками проведения контроля качества СС изделий и объектов и анализа нарушений технологических процессов сварки в машиностроении.

По варианту компетенции ПК-18 от бакалавра требуется освоение способности: умения применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий.

По варианту компетенции ПК-19, от бакалавра требуется освоение способности к метрологическому обеспечению технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции.

Особенностью ФГОС ВПО 3+ являются повышенные требования к обеспечению профессиональных компетенций [1, 2]. Их реализация в РПД по вариантам наименований разделов и тем приведена в табл. 1.

При постановке практической части курса пристального внимания и значительных затрат требуют вопросы обеспечения методической и предметной базы лабораторных работ (ЛР) и практических занятий, отвечающих не простым требованиям информативности, адекватности, значимости и представительности решаемых задач деградации СС [3-8].

Таблица 1

Матрица компетенций по разделам РП

| Наименование раздела и тем | Составляющие компетенций | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|---|---|-------|---|---|-------|--|--|--|
| | ПК-10 | | | ПК-18 | | | ПК-19 | | | |
| Тема 1.1. Основные виды разрушений металла и СС | * | | * | | | | | | | |
| Тема 1.2. Дефекты сварочного производства | | | | | | | * | | | |
| Тема 1.3. Дефекты состава, структуры, свойств сплавов и СС | | | | * | | * | | | | |
| Тема 1.4. Влияние остаточных напряжений на качество сварных соединений | * | * | * | | | | | | | |
| Тема 1.5. Система оценки соответствия СС | | | | * | | * | | | | |
| Тема 1.6. Методы разрушающего и неразрушающего контроля СС | | | | * | * | * | | | | |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|--|---|---|---|---|
| Тема 2.1. Обеспечения качества в системе жизненного цикла техники | * | | | * | | | | | |
| Тема 2.2. Основы фрактографии сплавов, СС | * | * | | | | | | | |
| Тема 2.3. Виды деградации СС по вариантам коррозии, НДС и нагруженности | * | | * | | | | | | |
| Тема 2.4. Организация диагностики качества металла и СС техники и устройств | * | * | | | | * | | | |
| Тема 2.5. Диагностика качества металла при производстве и эксплуатации | | * | | * | | | * | * | * |

Кроме того необходимо обеспечить учебный процесс современным, эффективным и компактным оборудованием в рамках доступных цен. Ниже приведены темы ЛР.

Лабораторный практикум

Таблица 2

| № п/п | № темы | Наименование лабораторных работ | Трудоемкость (час.) |
|-------|--------|--|---------------------|
| 1 | 1.1 | Анализ аварийных изломов методами ВИК и капиллярной дефектоскопии. | 5 |
| 2 | 1.2 | Определение остаточных напряжений сварных соединений (СС) измерением твердости | 5 |
| 3 | 1.3 | Изучение методики экспресс анализа состава металла, СС | 4 |
| 4 | 1.6 | Влияние низких температур на ударную вязкость СС | 4 |
| 5 | 2.1 | Определение технологических свойств СС деталей | 4 |
| 6 | 2.2 | Определение остаточных напряжений сварных соединений по диаграмме деформирования | 4 |
| 7 | 2.3 | Изучение методики ультразвуковой дефектоскопии | 5 |
| 8 | 2.4 | Определение остаточных напряжений сварных соединений методом тензометрирования | 5 |

Таблица 3

| № п/п | № тем | Наименование практических занятий | Трудоемкость |
|-------|---------|--|--------------|
| 1-3 | 1.1-1.3 | Изучение изломов сварных соединений | 6 |
| 4 | 1.3 | Изучение дефектов | 2 |
| 5 | 2.2 | Изучение эталонов структур по ГОСТ 10243 | 2 |
| 6 | 2.2 | Изучение эталонов структур по ГОСТы 11878 и 5640 | 2 |
| 7 | 1.3 | Изучение структуры промежуточных слоев сварки-пайки при сварке в твёрдо - жидком состоянии | 2 |
| 8 | 1.4 | Влияние остаточных напряжений на структуру, свойства на примере подварки дефектов задвижки | 2 |
| 9 | 1.5 | Металлография сварных соединений опоры трубопровода | 2 |

Думается, выпускник ВУЗА должен владеть навыками идентификации типовых и браковочных признаков качества сварных соединений, различая металлургические производственные и эксплуатационные в них особенности.

Литература

1. Горицкий В.М. Диагностика металлов.- М.: Металлургиздат, 2004. 408с
2. Муратаев Ф.И. Адаптация методики преподавания к требованиям ФГОС ВПО для повышения профессиональных компетенций студентов-материаловедов // ISSN 2078-6255. Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2014. № 1. С. 194-197.
3. Ф.И. Муратаев Совершенствование методики преподавания в связи с требованиями образовательных стандартов бакалавров и магистров // В сборнике «Профессиональные коммуникации в научной среде – фактор обеспечения качества исследований» материалы II ВНК с зарубежными участниками / КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, АФ. 2016. С.94-96.
4. Муратаев Ф.И. Типовые и деградационные признаки микроструктуры сварных соединений конструкционных и специальных сталей // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2013. № 2. Выпуск. 3. С. 84–89.
5. Муратаев Ф.И., Муратаев А.Ф. Адаптация состава, структуры, свойств металла и сварных соединений теплообменников к сопротивлению высокотемпературной газовой коррозии// Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева 2015 №3. С.119-125.
6. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕГРАДАЦИИ МЕТАЛЛА ЗМЕЕВИКОВ ПАРООБРАЗОВАНИЯ Муратаев Ф.И., Муратаев А.Ф. В сборнике: Профессиональные коммуникации в научной среде - фактор обеспечения качества исследований, материалы II ВНК с зарубежными участниками. КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, Альметьевский филиал. 2016. С. 17-21.
7. ОБОСНОВАНИЕ МАТЕРИАЛА ЛИТЫХ ТРУБ ДЛЯ УСЛОВИЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ГАЗОВОЙ КОРРОЗИИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ «ПРОГРАММЫ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ» Муратаев А.Ф., Муратаев Ф.И. В сборнике: ПЕРСПЕКТИВЫ НАУКИ - 2016 материалы III Международного заочного конкурса научно-исследовательских работ. 2016. С. 200-202.
8. Ф.И. Муратаев, М.А. Клабуков, А.Ф. Муратаев ДЕГРАДАЦИЯ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ СТАЛЕЙ И СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЗМЕЕВИКОВ ПАРООБРАЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ХИМИЧЕСКОЙ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ // ISSN 2078-6255. Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева 2016 № 4. С.44-48.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ТРУБОПРОВОДОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ АГРЕССИВНЫХ СРЕД

Солопова Елена Алексеевна

Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ)
420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

Яппаров Евгений Михайлович
ЗАО НИЦ «Инкомсистем»
420000, г. Казань, ул. Восстания, 100

Аннотация: в работе рассмотрены некоторые вопросы разработки технологии сварки трубопровода из высоколегированной стали для транспортировки фракций серной кислоты. Проведен сравнительный анализ структуры и свойств сварных соединений, полученных аргонодуговой сваркой.

Abstract: The paper considers some issues of the development of welding technology for a pipeline of high-alloy steel for the transportation of sulfuric acid fractions. A comparative analysis of the structure and properties of welded joints obtained by arc.

Ключевые слова: сварка, трубопровод, серная кислота структура, свойства.

В настоящее время большое внимание при строительстве нефтеперерабатывающих заводов уделяется системам измерения количества носителей. Системы измерений количества предназначены для автоматического измерения с нормированной точностью объема и массы продуктов и сырья при выполнении торговых операций, а также оплаты услуг и налогов государству. Одной из основных частей этих систем являются технологические трубопроводы. Трубопровод представляет собой конструкцию, состоящую из труб, деталей трубопроводов и арматуры, соединенных между собой сварными швами и фланцевыми соединениями. В зависимости от транспортируемого продукта они изготавливаются из низколегированных сталей, а для агрессивных сред, из высоколегированных сталей. Рассматриваемый трубопровод предназначен для транспорта фракций серной кислоты. Серная кислота – едкая, токсичная жидкость. По степени воздействия на организм человека серная кислота относится к веществам второго класса опасности по ГОСТ 12.1.007-76. Температура рабочей среды от 10 до 40 °С, избыточное давление рабочей среды, от 0,6 до 0,82 МПа, избыточное расчетное давление 2,5 МПа, режим работы – непрерывный. Трубопровод изготовлен из высоколегированной аустенитной стали, что требует особых условий сварки и контроля. Согласно ГОСТ 32569-2013 при изготовлении технологических трубопроводов, помимо операционного контроля и традиционных методов, таких как: визуально-измерительный, рентгенографический и ультразвуковой, трубопроводы из высоколегированных сталей, работающие в агрессивных средах, должны подвергаться стилоскопированию, испытаниям на межкристаллитную коррозию и

металлографическим исследованиям. Стилоскопированию на наличие основных легирующих элементов подлежат сварные соединения трубопроводов с РН менее 100 выборочно, но не менее двух соединений, выполненных одним сварщиком одной партией сварочных материалов. Результаты стилоскопирования считаются удовлетворительными, если при контроле подтверждено наличие (отсутствие) и содержание соответствующих легирующих элементов в наплавленном или основном металле. Стилоскопирование проводилось инженерным центром «Энергопрогресс» с помощью поргативного рентгенофлуоресцентного анализатора S1 Titan. Он предназначен для измерения массовой доли химических элементов в металлах и сплавах и представляет собой рентгенофлуоресцентный спектрометр, принцип действия которого основан на измерении спектра вторичного рентгеновского излучения. Первичное рентгеновское излучение, создаваемое рентгеновской трубкой взаимодействует с элементами анализируемой пробы и вызывает вторичное излучение, спектр которого зависит от элементного состава пробы. Расчет массовой доли анализируемых элементов основан на зависимости интенсивности излучения от массовой доли элементов в пробе. Конструктивно анализатор состоит из источника рентгеновского излучения, детектора, управляющей электроники и блока питания, скомпонованных в пыле и влагозащищенном корпусе из ударопрочного пластика. В качестве источника рентгеновского излучения используется маломощная, рентгеновская трубка. Для регистрации излучения служит твердотельный высокочувствительный детектор высокого разрешения - кремниевый дрейфовый детектор (Silicon Drift Detector), отличающийся высоким разрешением и чувствительностью к низкоэнергетическому излучению, что позволяет анализировать легкие элементы (Mg, Al, Si, P, S). Стилоскопированию подвергались стыковые и угловые сварные швы трубопровода из 08X18H10T выполненные сваркой неплавящимся электродом в среде инертных газов с использованием сварочной проволоки марки Св-06X19H9Т. Результаты анализа приведены в таблице №1.

Таблица 1.

| №№ п/п | Наименование детали | Содержание элементов | | | | | | Результаты анализа |
|---|-------------------------------------|----------------------|---------|---------|-----------|----------|---------|--------------------|
| | | Fe | Si | Mn | Cr | Ni | Ti | |
| 1 | Наплавленный металл, стык №59, С17 | 70,53 | 0,75 | 1,12 | 18,0 | 8,59 | 0,78 | Соответст. |
| 2 | Наплавленный металл, стык №97, С17 | 67,57 | 0,6 | 1,24 | 18,54 | 10,92 | 0,94 | Соответст. |
| 3 | Наплавленный металл, стык №156, У19 | 69,93 | 0,49 | 1,11 | 18,94 | 8,99 | 0,74 | Соответст. |
| Химический состав сварочной проволоки марки Св-06X19H9Т по ГОСТ 2246-70 | | основа | 0,4-1,0 | 1,0-2,0 | 18,0-20,0 | 8,0-10,0 | 0,5-1,0 | |

По химическому составу наплавленный металл сварных соединений соответствует сварочной проволоке марки Св-06Х19Н9Т по ГОСТ 2247-70.

Испытания на стойкость к межкристаллитной коррозии (МКК) проводились на трубчатых сварных образцах D 57мм с толщиной стенки 5 мм тип 1 по методу АМУ согласно ГОСТ 6032-2003. Образцы выдерживают в кипящем растворе сернокислородной меди и серной кислоты в присутствии металлической меди (стружки). Испытания проводят в стеклянной колбе с обратным холодильником. Затем колбу заполняют раствором для испытаний около 4-8 см³ на 1 см² поверхности образца, при этом уровень раствора должен быть выше поверхности образца или слоя стружки. Затем реакционный сосуд с раствором и образцами нагревают и непрерывно кипятят, не допуская нагрева холодильника. Продолжительность выдержки в кипящем растворе 8 часов. После выдержки в растворе образцы промывают водой и просушивают. При отложении на образцах слоя меди, несмываемого струей воды, его удаляют, промывая образцы в 20%-30%-ном растворе азотной кислоты при температуре 20⁰ С- 25⁰ С. По окончании испытаний для обнаружения МКК образцы изгибают на угол 90⁰ +- 5⁰, для образцов данного типа – два образца по сварному шву и два образца по зоне термического влияния. Отсутствие трещин на образцах, изогнутых после испытания, за исключением продольных трещин и трещин непосредственно на кромках, свидетельствует о стойкости к межкристаллитной коррозии. Наличие трещин на образцах изогнутых после испытания, и отсутствие трещин на изогнутых таким же образом контрольных образцах свидетельствует о склонности стали к МКК. Контроль внутренней поверхности, соприкасающейся с агрессивной средой проводят с помощью металлографического анализа. Для этих целей из неизогнутого участка образца, прошедшего испытания, вырезают шлиф таким образом, чтобы линия реза проходила перпендикулярно к сварному шву, а плоскость реза включала металл шва, зону термического влияния и основной металл. Длина образца 15-20 мм. Травление проводят лишь до слабого выявления границ зерен. Наличие и глубину МКК устанавливают по протравленным шлифам при увеличении 200^x. Максимальная глубина разрушения выявляется в шести полях зрения. В эти поля включаются участки с наибольшей глубиной МКК. Признаком стойкости к МКК при металлографическом контроле считается разрушение границ зерен на максимальную глубину до 30 мкм. Все образцы сварных соединений прошли испытания на МКК.

Исходя из выше сказанного, можно сделать вывод, что сварочные материалы и параметры режима сварки были выбраны правильно. В данной работе использовалась следующая технология: подготовка свариваемых кромок и параметры шва – по ГОСТ 16037-80 тип соединения С17. Свариваемые кромки зачищались механическим способом до Rz 80 и обезжиривались. Основной материал – труба 57x5 мм 08Х18Н10Т по ГОСТ 9941-81, присадочный материал – пруток сварочный Св-06Х19Н9Т d=2.0 мм, электрод вольфрамовый WL-15 Gold Plus d=3,2 мм, защитный газ – аргон с обязательной защитой корня шва, расход газа в горелку 8-10 л/ мин, на защиту корня 3-4 л/мин., сборка осуществлялась на прихватках, их количество не менее 2 штук,

длина 5-10 мм, высота 2-2,5 мм. Сварка велась в два прохода, род тока – постоянный, полярность – прямая. Сила сварочного тока 70-80 А. В процессе сварки производился пооперационный контроль. По окончании сварки визуально-измерительный контроль-100%, рентгенографический контроль - 100% и стилоскопирование.

Литература

1. ГОСТ32569-2013 Трубопроводы технологические стальные. Требования к устройству и эксплуатации на взрывопожароопасных и химически опасных производствах.

2. ГОСТ 6032-2003 Стали и сплавы коррозионно-стойкие. Методы испытаний на стойкость к межкристаллитной коррозии.

СЕКЦИЯ № 6

**«Инновационные разработки малых и средних
предприятий»**

Модератор:

Баскевич Петр Петрович – директор по инновациям АО «КНИАТ»

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ, ИННОВАЦИИ, ИНВЕСТИЦИИ, ПАРТНЕРСТВО С ПРЕДПРИЯТИЯМИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Баскевич П.П.

АО «Казанский научно-исследовательский институт авиационных технологий»,
420036, г.Казань, ул. Дементьева, 2в

Аннотация. Рассмотрена деятельность научно-инновационная деятельность малых и средних предприятий (МСП), инвестиционные механизмы реализации инновационных проектов МСП, рекомендации по формированию инновационных проектов и представлению их на конкурсы и программы Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Фонда содействия инновациям).

Abstract. Considered the activities of scientific and innovative activity of small and medium enterprises (SMEs), investment mechanisms for the implementation of innovative projects of SMEs, advice on formation of investment projects and submitting them to contests and programs of Fund of assistance to development of small forms of enterprises in scientific-technical sphere (Fund of assistance to innovation).

Ключевые слова: инновация, инновационный проект, инвестиции, интеллектуальная собственность.

Сегодня повсеместно, широко и всеми используются термины «инновация», «инновационная деятельность», «инновационный продукт» и др. В мировой экономической литературе термин «инновация» интерпретируется как превращение потенциального научно-технического прогресса в реальный, воплощенный в новых продуктах и технологиях.

Проблематика нововведений в нашей стране на протяжении многих лет разрабатывалась в рамках экономических исследований научно-технического прогресса. Термин «инновация» стал активно использоваться в переходной экономике России как самостоятельно, так и для обозначения родственных понятий: «инновационная деятельность», «инновационный процесс», «инновационное решение» и т.п. В литературе насчитывается множество определений. Например, выделяют инновации технические, экономические, организационные, управленческие и др. Определений термину инновация множество и различные трактовки отмечаются с 1911года (Н. Мончев, И. Перлаки, В.Д. Хартман, Э. Мэнсфилд, Р. Фостер, Б. Твисс, И. Шумпетер, Э. Роджерс и др.).

Методология системного описания инноваций в условиях рыночной экономики базируется на международном Руководстве, принятом в 1993г. в итальянском городе Фраскати): *инновация определяется как конечный результат инновационной деятельности, получившей воплощение в виде нового или усовершенствованного продукта, внедренного на рынке, нового или усовершенствованного технологического процесса, используемого в*

практической деятельности, либо в новом подходе к социальным услугам. Непременными свойствами инновации являются научно-техническая новизна и производственная применимость. Коммерческая реализуемость по отношению к инновации выступает как потенциальное свойство, для достижения которого необходимы определенные усилия.

Новшество - новый порядок, новый метод, изобретение, оформленные в виде какой-либо из форм интеллектуальной собственности (ИС). **Нововведение** означает, что новшество используется. С момента принятия к распространению новшество приобретает новое качество и становится **инновацией**.

К малым и средним предприятиям относятся предприятия, соответствующие федеральному закону № 209-ФЗ от 24.07.2007.

Инвестиции в инновационный проект могут быть госбюджетные и внебюджетные. Госбюджетные: одна из форм - это гранты на выполнение НИОКР выделяемые победителям конкурсов и программ Фонда содействия инновациям. Внебюджетные: собственные средства предприятия, внешние инвестиции, в том числе венчурные фонды и средства частных инвесторов.

Фонд содействия инновациям (www.fasie.ru) образован в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 03.02.1994 N 65.

Целью деятельности Фонда является финансовое обеспечение научной, научно-технической, инновационной деятельности, в том числе на условиях софинансирования за счет средств различных источников, не запрещенных законодательством Российской Федерации, содействие реализации государственной научно-технической политики и научных, научно-технических программ и проектов, инновационных проектов в сфере технологий гражданского назначения, эффективному использованию научно-технического потенциала и вовлечению достижений науки и техники в производство для развития малых форм предприятий в научно-технической сфере, деятельность которых заключается в практическом применении (внедрении) результатов интеллектуальной деятельности – субъектов малого инновационного предпринимательства, а также развитию инновационной инфраструктуры и созданию новых рабочих мест для эффективного использования имеющегося в Российской Федерации научно-технического потенциала.

Фонд принимает участие в реализации Национальной технологической инициативы (НТИ). НТИ – программа мер по формированию принципиально новых рынков и созданию условий для глобального технологического лидерства России к 2035 году. НТИ включает системные решения по определению ключевых технологий, необходимых изменений в области норм и правил, работающих мер финансового и кадрового развития, механизмов вовлечения и вознаграждения носителей необходимых компетенций.

Свыше 60% финансовых средств направляется Фондом на поддержку инновационных проектов в регионы Российской Федерации. Представители Фонда работают более чем в 70 регионах страны. Региональные представители – важный инструмент в реализации стратегии Фонда в регионах.

В 2016 году Фондом израсходовано 6 495 692,4 тыс. руб. лей по 4168 договорам.

Программа «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («УМНИК») является самой масштабной в стране программой выявления и поддержки молодых ученых, стремящихся самореализоваться через инновационную деятельность.

Ключевые результаты 2016 г. По программе «УМНИК» (www.fasie.ru):

- число поступивших заявок – 14 344 шт.;
- число победителей программы – 1349 чел., включая 101 победителя, отобранных по дорожным картам НТИ.

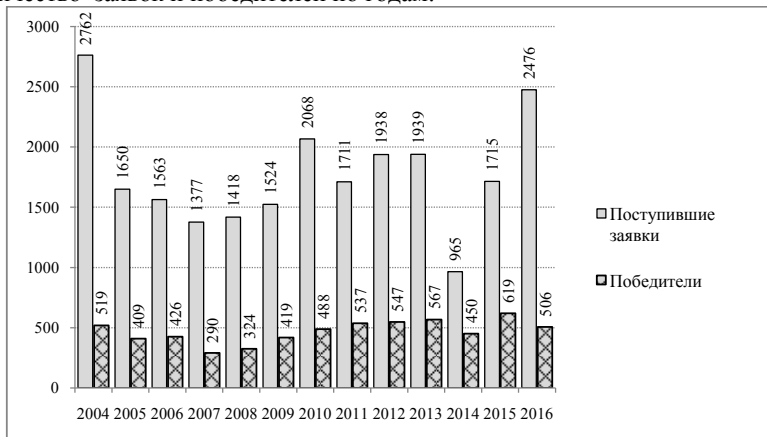
Всего за 13 лет проведения программы поступило 23 106 заявок, из которых было поддержано 5986 проектов, в том числе из Республики Татарстан – 506 проектов.

С малыми инновационными предприятиями в 2016г. заключено 913 договоров (соглашений) о предоставлении грантов на проведение НИОКР стоимостью 4 248 716 тыс. рублей, из них по программам:

– программа «Старт» – 727 договора на сумму 1 526 153,9 тыс. рублей, в том числе:

- «Старт» – 1 год – 506 договоров на 1 136 817,9 тыс. рублей;
- «Старт» – 2 год – 78 договоров на 219 736 тыс. рублей;
- «Старт» – 3 год – 43 договора на 169 600 тыс. рублей

Программа «СТАРТ» действует с 2004 года на диаграмме представлены количество заявок и победителей по годам.



– подпрограмма «Развитие» – 2 договора на сумму 30 000 тыс. рублей;

– подпрограмма «СОПРовождение» – высокотехнологичные проекты в социальной сфере (улучшение качества жизни пожилых граждан, инвалидов, маломобильных и иных социально незащищенных групп населения) – 8 договоров на сумму 105 075,5 тыс. рублей;

– программа «Интернационализация» – Международные конкурсы – 29 договоров на сумму 352 960 тыс. рублей;

– программа «Кооперация» – 4 договора стоимостью 79 700 тыс. рублей;

– программа «Поддержка Центров молодежного инновационного творчества» («ЦМИТы») заключено 15 договоров стоимостью 86 250 тыс. рублей.;

– программа «Развитие НТИ» – реализация проектов на выполнение НИОКР в целях реализации планов мероприятий («дорожных карт») Национальной технологической инициативы – 128 договоров стоимостью 2 068 576 680 тыс. рублей.

– программа «Коммерциализация» – предоставление грантов юридическим лицам на финансовое обеспечение инновационных проектов, результаты которых имеют перспективу коммерциализации, по 4-й очереди программы заключен 71 договор на гранты с малыми инновационными предприятиями стоимостью 907 504,8 тыс. рублей

Фонд является одним из основных элементов национальной инновационной системы Российской Федерации. Между ключевыми российскими институтами развития и заинтересованными организациями 6 апреля 2010 года было заключено «Соглашение о взаимодействии институтов развития в сфере обеспечения непрерывного финансирования инновационных проектов на всех стадиях инновационного цикла».

Реализация указанного соглашения позволила создать эффективно работающую систему «инновационного лифта». Задача Фонда в системе государственных институтов развития – создание максимально благоприятных условий для оптимизации потока качественных проектов и их дальнейшей поддержки. Таким образом, Фонд становится первым этажом «инновационного лифта». Партнерами по решению данной задачи являются Фонд развития интернет-инициатив (ФРИИ), Российская венчурная компания (РВК), РОСНАНО, Фонд «Сколково», Внешэкономбанк (ВЭБ), Московская межбанковская валютная биржа (ММВБ), которые обладают своими ресурсами и включаются в финансирование предприятий на соответствующем этапе, другими структурами.

Фондом поддержана пятая часть от числа проектов портфельных компаний, профинансированных РОСНАНО, 30 компаний, профинансированных Фондом посевных инвестиций РВК, 26 компаний, поддержанных ФРИИ; 385 проектов, поддержанных Фондом, получили статус участника проекта «Сколково», из них 34 стали участниками в 2016 году. Также в 2016 году 62-м проектам, поддержанным Фондом, был одобрен грант Фонда «Сколково».

Изменения в работе программы «УМНИК» с 2016 года.

Новое Положение о программе «УМНИК», утвержденное в сентябре 2016 года, в значительной степени изменило программу поддержки молодых инноваторов:

- сумма гранта увеличена на 25% и теперь составляет 500 000 рублей. До этого сумма гранта не менялась с 2008 года, несмотря на инфляцию и макроэкономическую ситуацию;

- возраст участников увеличен и теперь находится в диапазоне от 18 до 30 лет включительно. Изменение проведено на основании Распоряжения Правительства от 29 ноября 2014 года № 2403-Р, определяющего возраст молодежи в РФ;

- срок каждого из двух годовых этапов двухлетнего договора теперь может быть уменьшен до 6 месяцев, в случае выполнения грантополучателем всех предусмотренных договором работ и достижения заявленных показателей;

- процесс экспертизы заявки теперь проходит в 3 этапа: полуфинальный отбор, затем заочная обезличенная экспертиза, затем финальный отбор. На первом этапе силами региональных экспертов оценивается только научная новизна проекта, на втором этапе – также только научная новизна (при участии экспертов из других регионов), на третьем этапе проводится очная оценка перспектив коммерциализации и квалификации заявителя. Экспертиза проекта проводится в соответствии с новой системой оценок;

- изменен принцип формирования региональных экспертных жюри (РЭЖ), оценивающих проекты в ходе финальных отборов. В связи с тем, что основным критерием оценки на финале являются перспективы коммерциализации, РЭЖ формируются из опытных представителей бизнес-сообществ, а также из представителей властных структур;

- количество траншей по договору гранта увеличено до трех: по факту заключения договора исполнитель получает на личный банковский счет 200 000 рублей, по факту сдачи промежуточного отчета – 250 000 рублей, по факту успешного выполнения договора – оставшиеся 50 000 рублей;

- введено обязательство грантополучателя по прохождению преакселерационной программы, в рамках которой будут получены знания по основам инновационного предпринимательства. Одним из результатов прохождения преакселерационной программы станут навыки по подготовке бизнес-плана, написание которого также входит в обязательство грантополучателя по завершении программы «УМНИК»;

- важнейшим изменением является введение обязательства грантополучателя по обеспечению развития проекта в части создания основ для коммерциализации результатов НИР по завершении выполнения договора гранта. Одним из трех вариантов обеспечения данного обязательства может стать либо подача заявки в программу «Старт», либо регистрация малого инновационного предприятия (МИП) в соответствии с Федеральным законом № 209-ФЗ «О развитии малого и среднего предпринимательства в РФ» от 24.07.2007 г. с долевым участием заявителя не менее 50%, либо подписание лицензионного соглашения о возмездной передаче прав на РИД, созданные в рамках выполнения НИР.

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО БОРИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ

*Гилязов Ильназ Наилевич,
gilazov.ilnaz@mail.ru,*

Набережночелнинский филиал «Казанский (Приволжский) федеральный университет»;

*Астащенко Владимир Иванович,
astvi-52@mail.ru,*

Набережночелнинский филиал «Казанский (Приволжский) федеральный университет»;

*Емельянов Дмитрий Владимирович,
bk8@mail.ru,*

*Набережночелнинский филиал Казанского национального
исследовательского технического университета им. А. Н. Туполева,
г. Набережные Челны.*

Аннотация. В данной статье рассмотрены методы повышения работоспособности деталей за счет совершенствования их структурного состояния поверхности. Проанализированы характерные особенности метода борирования и электролитно-плазменной обработки. Выявлена и обоснована необходимость совместного использования этих методов. На основе проведенного обзора автором предлагается возможность использования электролитно-плазменного борирования деталей.

Актуальность. Повышение работоспособности деталей за счет совершенствования их структурного состояния поверхности методом борирования и электролитно-плазменной обработки позволит использовать более рациональное применение легированных материалов для изготовления различных деталей с рабочей частью, обладающей высокими физико-механическими и эксплуатационными характеристиками, что, безусловно, является актуальной задачей для современного машиностроительного производства.

Ключевые слова: электролитно-плазменная обработка, химико-термическая обработка, борирование, поверхностное упрочнение, износостойкость.

Annotation. In this article methods of increasing the working capacity of parts due to the improvement of their structural state of the surface are considered. Characteristic features of the borating method and electrolytic-plasma treatment are analyzed. The need for joint use of these methods has been identified and justified. Based on the review, the author suggests the possibility of using electrolyte-plasma boronization of parts.

Relevance. Improving the performance of parts by improving their structural state of the surface by the method of boriding and electrolyte-plasma treatment will

make it possible to use a more rational application of alloyed materials for the manufacture of various parts with a working part that has high physicomachanical and operational characteristics, which is certainly an actual task for the modern machine-building production.

Key words: electrolytic-plasma treatment, chemical-thermal treatment, boriding, surface hardening, wear resistance.

Повышение работоспособности машин и механизмов, напрямую зависит от работоспособности составляющих их узлов. Поэтому повышая износостойкость, долговечность деталей типа подшипниковых узлов, зубчатых колес, кулачковых валов двигателей внутреннего сгорания и других деталей, которые зачастую испытывают большие ударные нагрузки, напряжения и работают в трении, возможно повышение механизма в целом.

Для долговечности деталей необходимо, чтобы она обладала рядом свойств, таких как высокая прочность и твердость поверхностного слоя при сочетании с пластичностью сердцевины. Достичь таких свойств можно применением различных способов поверхностного упрочнения, химико-термической обработки. Одним из современных и мало изученных методов является электролитно-плазменная обработка деталей и метод борирования. Возможность совместного использования данных методов позволит использовать более рациональное применение легированных материалов для изготовления различных деталей с рабочей частью, обладающей высокими физико-механическими и эксплуатационными характеристиками, что, безусловно, является актуальной задачей для современного машиностроительного производства.

В современном машиностроении для поверхностного упрочнения конструкционных и легированных сталей и компонентов машин применяются методы создания различных износостойких покрытий функциональных материалов (порошковые покрытия, керамика и термостойкие полимеры, однокомпонентные и многокомпонентные металлические и композитные гальванические покрытия твердосплавные и т. д.).[1]

Одним из наиболее эффективных и простых методов поверхностного упрочнения стальных деталей, используемых на заключительных этапах обработки и легко сочетающихся с термической обработкой материала, является химико-термическая обработка (ХТО).

Достаточно часто применяемым способом ХТО, является насыщение поверхности стали бором – борирование. Бор, так же как азот и углерод, образует:

- твердые растворы внедрения ограниченной растворимости;
- промежуточные фазы – карбиды, нитриды, карбонитриды, бориды;
- играет роль фаз-упрочнителей.

Борирование является процессом химико-термической обработки, заключающимся в насыщении поверхностных слоев изделий бором при нагреве

их в той или иной боросодержащей среде, осуществляемым с целью повышения твердости и стойкости.

В качестве насыщающей среды при борировании инструментов используют твердофазные (порошковые) смеси разнообразного состава, расплавы солей, газовые среды и пасты или обмазки.[2,5]

В нашем случае рассмотрим электролитическое борирование. Сущность его заключается в следующем. В тигле из жаростойкой стали расплавляют буру, погружают туда насыщаемое изделие, к которому, как к катоду, подается постоянное напряжение. Анодом служит гранитовый или угольный стержень.

Буру, содержащую кристаллизационную воду ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), предварительно прокаливали при температуре 450-550° С. Буру загружают небольшими порциями (по 8-10 кг) при достижении уровня буры 100-150 мм от дна тигля. В последний вводят электрод и включают постоянный ток. Концы электродов должны находиться на расстоянии 100 мм от дна тигля и не менее 30 мм от стенок.

Источником постоянного тока при борировании служит генератор, например НД 1500/700. При включении устанавливается сила тока 50-80А. По мере повышения уровня расплавленной буры при ее добавлении порциями в тигель сила тока возрастает приблизительно на 50А на каждые 100/150 мм. После заполнения тигля бурой систему выдерживают 3-5 ч при температуре 950° С и силе тока в цепи электролиза в зависимости от типоразмера деталей 400-600 А.[3]

Внешними признаками начала электролиза является энергитичное выделение пузырьков газа на аноде и вспышки стораемого металлического натрия над катодом.

На основании термодинамических расчетов показано, что во всем интервале температур борирования при электролизе буры потенциал выделения натрия больше, чем таковой у бора, т.е. продуктом в первую очередь является бор.

Во время работы ванны бура выгорает, а часть ее удаляется со шлаком и деталями. Поэтому периодически в ванну добавляют порции свежей буры, а через 5 - 6 ч проводят рафинирование. После обработки определенного количества изделий необходимо проверить химический состав буры, поскольку содержание железа в ванне более 0,5% сильно ухудшает борирование.

Напряжение на электродах устанавливается 12-20В, плотность тока 0,15-0,3 А/см². С увеличением плотности тока несколько возрастают глубина и поверхностная твердость, т.е. выделение атомарного бора на катоде ускоряется. Так, повышение плотности тока с 0,1 до 0,3 А/см² (температура ванны 950°С, продолжительность обработки 3 ч) сопровождается увеличением толщины слоя с 0,13 до 0,16 мм.[3]

При поверхностной обработке сталей электролитно-плазменным методом, у детали нагревается вся поверхность находящаяся в растворе. Для этого деталь размещают на кронштейн и погружают в раствор электролита. Затем подается напряжение и обеспечивается поддержание температуры раствора в заданных пределах. В электролите – при пропускании тока через

электролит на катоде (закаливаемая деталь) образуется газовая рубашка водорода, при этом ток сильно возрастает и деталь нагревается. После отключения тока деталь можно сразу же закалить в электролите. При этом нагрев происходит довольно быстро и в зависимости от времени нагрева можно регулировать глубину слоя обработки, упрочнения.[4]

Нагрев деталей происходит практически равномерно по всей площади изделия. Только в местах больших выступов имеется 5-10% увеличение роста температуры из-за особенности технологии.

Параметры оборудования для поверхностной закалки электроплазменным методом[4]:

- мощность оборудования: рассчитывается исходя из площади обрабатываемого изделия. На закалку 1 кв.дм. необходимо порядка 8 кВт.
- плотность тока порядка 30 А/кв.дм.
- рабочее напряжение 380 В.
- время закалки прямопропорционально глубине закаленного слоя: от 3 до 10 секунд.

Если рассматривать два метода, и проводить электролитно-плазменную обработку в боросодержащих растворах (например, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), то, есть вероятность совместного использования данных методов для увеличения износостойкости и поверхностной твердости деталей.

Литература

1. Мишустин Н.М. Износостойкие боридные покрытия, получаемые на конструкционных и легированных сталях с использованием ТВЧ-нагрева. //Диссертация на соискание ученой степени. 2012. Барнаул.
 2. Околович Г.А. Штамповые стали для холодного деформирования металлов: Монография / Г.А. Околович; Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова. Изд. 2-е, переработанное, дополненное. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010, 202 с.
 3. Интернет ресурс: <http://metal-archive.ru/>
 4. Интернет ресурс: <http://mehtehn.ru>
- Войнов Б.А. Износостойкие сплавы и покрытия. – М.: Машиностроение, 2010. – с. 37-50.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ЧЕРВЯЧНОГО ТИПА ДЛЯ ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКИ ЗУБЬЕВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Головко Александр Николаевич
Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Казанский
(Приволжский) федеральный университет»
423812, Республика Татарстан, г. Набережные Челны, пр. Суюмбике, д. 10А

Головко Ирина Викторовна
Набережночелнинский филиал ЧОУ ВО «Казанский инновационный
университет им. В.Г. Тимирязова (ИЭУП)», 423815, Республика Татарстан, г.
Набережные Челны, пр. им. Вахитова, д. 4

В докладе представлена конструкция инструмента червячного типа для чистовой обработки зубьев зубчатых колес, которая позволит исключить операции зубошлепования и зубохонингования из технологического процесса.

The design of the tool of worm type for finish machining of teeth of gear wheels which will allow to exclude operations of a gear shaving and a gear honing from technological process is presented in the report.

Ключевые слова: конструкция, инструмент червячного типа, чистовая обработка, зубья, зубчатое колесо.

Повышение конкурентоспособности автомобилей на мировом рынке в существенной степени связано с совершенствованием технологии обработки зубьев зубчатых колес.

Известны конструкции инструментов для чистовой обработки зубьев зубчатых колес со спирально-винтовыми режущими кромками, выполненными на одной боковой стороне витков [1, 2]. Недостатком этих инструментов является сложность конструкции и технологии изготовления.

Известна конструкция инструмента для чистовой обработки зубьев зубчатых колес, выполненная с непрерывными винтовыми режущими кромками [3]. К ее достоинствам можно отнести сравнительную простоту конструкции и технологии её изготовления.

При этом стоит отметить, что шаг режущих кромок данного инструмента в сечении, нормальном к винтовой режущей кромке должен быть равен шагу зубьев колеса по основной окружности P_{bt} [4]. Это условие является определяющим, поскольку именно оно обеспечит получение эвольвентного профиля.

Использование инструментов червячного типа со сплошными винтовыми режущими кромками позволит исключить операции зубошлепования и зубохонингования из технологического процесса.

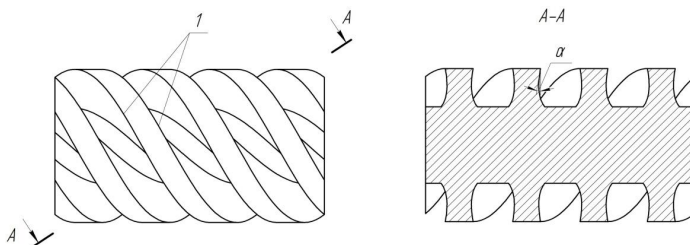


Рис. 1. Конструкция инструмента червячного типа (1 – винтовые режущие кромки, α – задний угол).

Номинальные значения основных конструктивных параметров инструмента червячного типа можно определить по зависимостям, определяющим параметры червячной зуборезной фрезы.

Литература

1. А.с. 1106609 СССР, МКИ В 23 F 21/16. Инструмент для чистовой обработки зубчатых колес / С.П. Радзевич (СССР). – № 100408 ; заявл. 27.09.82 ; опубл. 07.08.84, Бюл. № 29. – 2 с. : ил.
2. А.с. 1004030 СССР, МКИ В 23 F 21/16. Червячный инструмент / С.П. Радзевич (СССР). – № 3277248/25-08 ; заявл. 16.04.81 ; опубл. 15.03.83, Бюл. № 10. – 2 с. : ил.
3. Пат. 2005013 Российская федерация, МПК В 23 F 19/00, В 23 F 5/22. Способ чистовой обработки зубьев эвольвентных зубчатых колес / Сморгалов Н.В., Скрипин В.П., Птицын В.П., Белугин Ю.Ф.; заявитель и патентообладатель Камский политехнический институт. – № 4900645/08 ; заявл. 31.10.90 ; опубл. 30.12.93, Бюл. № 47-48. – 5 с. : ил.
4. Головкин, А.Н. Оценка погрешности формообразования профиля зуба колеса инструментом червячного типа со сплошными винтовыми режущими кромками / А.Н. Головкин, В.А. Гречишников, С.Ю. Юрасов, В.Б. Романов // Вестник МГТУ «Станкин». – 2016. – №2. – С. 17–20.

ВЛИЯНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ЧУГУНА НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ИНСТРУМЕНТА В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ

Давлетшина Галия Камилловна, Кондрашов Алексей Геннадьевич,
Заиров Булат Фоатович, Заиров Ленар Фоатович

кафедра «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»

Набережночелнинский институт (филиал) К(П)ФУ
423812, Республика Татарстан, г. Набережные Челны, д.68/19.

E-mail: kpfu.ktomp@yandex.ru

Аннотация. Приводится обзор обрабатываемости резанием чугунов. Исследовано влияние микроструктуры чугуна на работоспособность

инструмента при резании. Выявлены причины, влияющие на поломки инструмента при сверлении.

Annotation. Provides an overview of the machinability of cast irons. The influence of iron microstructure on the performance of the tool when cutting. Identify the causes that affect tool breakage during drilling.

Ключевые слова: высокопрочный чугун, сверление, микроструктура, обрабатываемость резанием.

Keywords: high strength cast iron, drilling, microstructure, machinability.

Несмотря на значительный объем исследований по изучению обрабатываемости материалов резанием, до настоящего времени не установлены общепринятые единицы измерения этой характеристики. Принято считать [1, 2], что материал обладает хорошей обрабатываемостью, если при его обработке резанием силы резания и износ инструмента незначительные, а стойкость инструмента и качество обработанной поверхности достаточно высокие.

Параметры обрабатываемости зависят от структуры и свойств чугуна, определяемых его маркой, составом исходных материалов, технологией получения, режимов термообработки и другими технологическими факторами. Производить оценку обрабатываемости только по одному из показателей процесса резания нельзя, так как обработка различных чугунов даже одной твердости может характеризоваться различными значениями сил резания или температур. [3,4]

Обрабатываемость чугунов определяется особенностями конструкции отливок, условиями литья и в первую очередь их микроструктурой

Не менее важное значение имеет микроструктура металлической основы (матрицы) чугуна. Особенности структуры матрицы высокопрочного чугуна с шаровидным графитом являются: а) расположение феррита преимущественно в виде оторочек вокруг включений шаровидного графита; б) более тонкое, чем у серого чугуна, строение пластинчатого перлита, часто напоминающее сорбитообразный перлит. Микроструктура матрицы влияет на стойкость режущего инструмента, уровень оптимальных режимов резания и производительность обработки. [5]

Основным недостатком высокопрочного чугуна при обработке резанием является различная стойкость режущего инструмента. На обработку изделий из ВЧ затрачивают в три раза большее количество инструмента по сравнению с обработкой серого чугуна. Высокопрочный чугун содержит больше кремния и легирующих элементов в виде труднообрабатываемых карбидов. Это приводит к более интенсивному абразивному износу рабочих поверхностей режущего инструмента и выделению значительного количества теплоты, что дополнительно сокращает стойкость инструмента за счет снижения способности к сопротивлению износу. При низкой жесткости технологической системы инструмент так же быстро изнашивается из-за неравномерности срезаемого слоя, высоких ударных нагрузок и колебаний сил резания. [6,7]

Были проведены исследования на обрабатываемость деталей из широко применяемых в автомобилестроении чугунов. Эксперимент включал обработку 10 образцов каждого наименования деталей. Режущий инструмент – сверла диаметром 10...16 мм. Химический состав чугуна определялся методом спектроскопии с использованием микрофотометра МФС-51 и спектрографа АФС-51. Отбор и изготовление образцов для исследования проводили в соответствии с ГОСТ 3443-87. Реактивом для травления шлифов чугуна использовали 4% раствор азотной кислоты .

В результате исследований было выявлено влияние микроструктуры чугуна на работоспособность режущего инструмента. Так, при обработке сверлением исследуемых деталей из высокопрочного чугуна, с различной микроструктурой, металлической основой и присутствием графита шаровидного правильной и неправильной формы, равномерно и неравномерно распределенного в количестве 8-12% (ГОСТ 3443-87), происходит поломка режущего инструмента (табл.).

Таблица
Параметры свойств чугуна в отливках

| Название детали | Твердость, НВ | Металлическая основа | Дополнительные факторы |
|--------------------------------|---------------|--|--|
| Стакан 6520-3104055 | 187-197 | Перлит пластинчатый 30...60% и феррит | Включения вермикулярного графита, неравномерно распределенного |
| Пластина 4326-3105040 | 477 | Игольчатый мартенсит и остаточный аустенит и феррит (Ф6-10%) перлит местами 80-90% | Мартенсит в металлической основе. Твердость завышена |
| Крышка подшипника 5320-2402079 | 285 | Перлит пластинчатый примерно 60% и феррит. | Твердость завышена |
| Стакан 6520-3104055 | 156 | Перлит пластинчатый в количестве от 10 до 30% и от 30- до 60% | С поверхности на глубину 1,0мм наблюдаются скопления прямолинейного графита, соединенные между собой пленкой с частицами |

| | | | |
|----------------------------|---------|---|---|
| | | | неразложившегося модификатора; в зоне дефектов наблюдается отсер и перлитная кайма – «окисная пленка» -дефект литейного производства. |
| Крышка 53205-2502209 | 143-149 | Феррит | С поверхности на глубину 0,18 мм – ферритная кайма. Такие наблюдаются скопления прямолинейного графита, соединенные между собой пленкой с частицами неразложившегося модификатора, распространяющегося на глубину до 4.5мм – дефект литейного производства - «окисная пленка» |
| Стакан 5320-2402112 | 217 | Перлит зернистый ≈40%; феррит≈40%; троостит≈20%. | Троостит с микротвердостью HV 349-371 |
| Картер МОД 5320-2506111 | 156 | Перлит пластинчатый + феррит от 40% до 70% | Поры по стенкам чистые, обезуглероженные поражающие металл на глубину до 7,5мм – «газовая пористость» литейного производства |

Как показывают результаты проделанной работы, основными факторами поломки режущего инструмента при обработке сверлением являются структурные составляющие не диффузионного распада аустенита (троостит,

мартенсит и др.) с высокой микротвердостью. В чугунах с ферритной основой наблюдаются дефекты литья, которые также оказывают влияние на работоспособность инструмента при обработке резанием.

Таким образом, для уменьшения поломок инструментов при сверлении чугуна необходимо обеспечить стабильные характеристики по структуре, твердости и чистоте сплава.

Литература

1. В.Е.Любимов и др. Справочник по обработке металлов резанием – К.: Техника, 1991. – 239 с.
2. В.И.Баранчиков и др. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания – М.: Машиностроение, 1990. – 285 с.
3. Исследование обрабатываемости высокопрочного чугуна с шаровидным графитом /Ю.В.Батыгин, Н.А.Лалазарова, И.В.Плотников// Вестник ХНАДУ, вып. 54, 2011.
4. Тренев Д. В. Обработка чугуна резанием //«Инструмент, технология, оборудование», 2007. №3.С.56-57.
5. Machining of Cast Irons/ Metals Handbook Ninth Edition / V. 16, Machining, ASM International, Metals Park, OH 44073, 1989. P. 648-665.
6. Использование твердосплавных режущих пластин при обработке высокопрочного чугуна /Давлетшина Г.К., Заиров Б.Ф., Петров С.М.// Сб. ст. по материалам XVIII-XIX междунар. Науч.-практ.конф. № 11-12 (17). Новосибирск: Изд.» «СибАК»,2014. 120с.
7. Свойства и перспективы применения изделий из высокопрочных чугунов в машиностроении / Давлетшина Г.К., Астащенко В.И., Замараева Т.А.// «Образование и наука-производству»:международная научно-техническая и образовательная конференция. (2010; Набережные Челны). Часть 1, книга 3 , сборник трудов. -273 с.

ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ЛЕГКИХ И НЕДОРОГИХ ГИРОСТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ БЛА. ЛЕГКИЙ БЕСКОЛЛЕКТОРНЫЙ МОТОР С БОЛЬШОЙ УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТЬЮ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ПРЯМОГО ПРИВОДА ОСЕЙ ГИРОСТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ПЛАТФОРМ

Двоеглазов Валерий Вячеславович
ООО «Авиа Инженеринг», 420030, г. Казань, ул. Военная 30-2.

Двоеглазов Денис Валерьевич
ООО «Лайтмотор», г. Казань, ул. Восстания, д.100, пом.5.

Аннотация доклада. Развитие беспилотных летательных аппаратов потребовало разработки качественных легких и недорогих гиростабилизированных платформ. В докладе приведены некоторые проблемы

их разработки и предложен вариант решения с использованием разработанного нового легкого бесколлекторного моментного мотора в пластиковом корпусе.

The development of unmanned aerial vehicles required the development of quality light and inexpensive gyrostabilized platforms. In the report some problems of their development are described and the variant of the solution with use of the new light brushless torque motor in a plastic case is offered.

Ключевые слова: гиросtabilизированная платформа, гиросtabilизированная платформа, моментный бесколлекторный мотор, corelessmotor, беспилотные летательные аппараты, мотор в пластиковом корпусе.

С развитием беспилотных транспортных средств возникла необходимость в легких и доступных по цене гиросtabilизированных платформах для установки на них видеокамер, фотоаппаратов, направленных антенн, прицелов, лазерных целеуказателей, оружия и т.д. Для реализации этой задачи сначала начали применять готовые сервоприводы, которые сразу включали в себя электромотор, редуктор, датчик обратной связи по положению выходного вала и контроллер, обеспечивающий управление выходным валом по положению.



Рис. 1. Сервопривод в разрезе



Рис. 2. Сервопривод компании Futaba

В течение короткого времени развития гиросtabilизированных платформ, преимущественно для беспилотных летательных аппаратов (БЛА), разработчикам стало ясно, что для получения качественной стабилизации оси визирования необходимо иметь прямой привод каждой оси гиросtabilизированной платформы, т.к. скорость даже самых быстрых сервоприводов с редукторами не обеспечивают мгновенного изменения положения линии визирования, что очень важно для получения, например, качественного видеоизображения. Усугубляет положение то, что даже в очень дорогих и качественных сервоприводах всегда имеется люфт в подшипниках, в зацеплении шестерен, а также имеется жесткость всей кинематической цепочки. Кроме этого, при стабилизации осей гиросtabilизированной платформы, важно, чтобы при появлении какого-либо возмущения на БЛА выходное звено гиросtabilизированной платформы, например, видеокамера сохранила своё мгновенное угловое положение относительно земли. Сервопривод с редуктором не способен мгновенно изменить положение своего выходного вала, а значит, он не позволит сохранить положение видеокамере и дернет её по угловому положению. Далее произойдет колебательный процесс, который должен быть задемпфирован контроллером управления сервоприводами гиросtabilизированной платформы. Подобные колебательные движения будут всегда

присутствовать при возмущениях БЛА либо при изменении линии визирования оператором.

В случае прямого привода осей каждую ось приводит в движение бесколлекторный трехфазный мотор. В этом случае исключается редуктор привода и, соответственно, люфты.

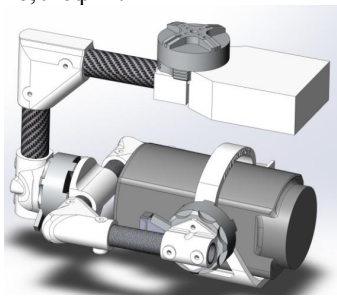


Рис. 3 Гиropлатформа ООО «Авиа Инженеринг»

Моторы, которые в настоящее время используются в большинстве недорогих гиropлатформ (до 500 т.руб.), конструктивно не отличаются от моторов, которые применяют для привода воздушных винтов мультироторных БЛА рис.4. Отличием является обмотка, которая обеспечивает максимальный статический момент. На практике, если использовать мотор для привода винта, то необходимо намотать около 12 витков на зубец, а при использовании этого же мотора в качестве моментного мотора привода оси гиropлатформы требуется 100-150 витков на зубец.

Бесколлекторные моторы прямого привода обеспечивают очень быструю реакцию на управляющую команду, а значит при появлении возмущения БЛА, при котором изменяется его угловое положение, контроллер управления сервоприводами гиropлатформы вкупе с моторами его компенсирует поворотом осей обратно пропорционально углу поворота БЛА. При этом видеокамера сохраняет прежнюю линию визирования и, соответственно, не происходит паразитных колебательных движений, связанных с инерцией видеокамеры.



Рис. 4. Слева мотор для привода оси гиropлатформы, справа для привода воздушного винта.

На практике для обеспечения высокой точности стабилизации требуется высокая точность балансировки всех осей гиropлатформы (всех частей карданного подвеса гиropлатформы в сборе). Добиться этого очень сложно, т.к.

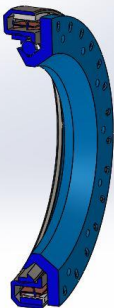
применяемые на бюджетных гироскопах моторы рис. 4. имеют тормозящий статический магнитный момент при принудительном вращении без подачи питания из-за взаимодействия стальных зубцов статора и постоянных магнитов ротора. Этот момент не позволяет точно сбалансировать оси гироскопа при её настройке в собранном виде. Кроме этого подобные моторы в работе имеют и пульсацию крутящего момента за оборот, связанную с проходом магнита ротора над зубцом статора. Этот недостаток можно частично компенсировать электронным регулированием управления вращением мотора, что значительно усложняет программную часть контроллера и требует точных датчиков обратной связи по угловому положению ротора мотора.

Для устранения выше описанных недостатков на дорогих гироскопах, применяемых в авиакосмической и военной технике, используют бесколлекторные беспазовые моментные моторы с гладким ротором (за рубежом их называют corelessmotor). Один из моторов этого семейства производства ОАО «Машиноаппарат» показан на рис.5. Его стоимость составляет около 40 тыс. руб. за шт. в отличие от бюджетных моторов, показанных на рис.4, стоимость которых около 2-3 тыс.руб. за шт.



рис. 5. Беспазовый двигатель
6ДБМ-40 производства ОАО
«Машиноаппарат»

В связи с этим стоит задача создания линейки относительно недорогих бесколлекторных моментных моторов с гладким статором без стального сердечника. Компания ООО «Лайтмотор» выиграла грант Фонда содействия малому и среднему предпринимательству по программе Старт-1 по теме «Разработка, изготовление и испытание экспериментального бесколлекторного синхронного электрического мотора в пластиковом корпусе со статором без стального магнитопровода».



В результате работы по проекту была разработана новая конструкция мотора, на которую была подана заявка на получение патента на изобретение. Также была разработана технология его изготовления.

Основными особенностями мотора являются:

- металл используется для изготовления только тех частей, без которых мотор не может существовать. Это медные обмотки, постоянные магниты и стальной магнитопровод ротора. Все остальные части, включая шариковый подшипник,

выполнены из пластика или керамики;

- подшипник интегрирован в конструкцию и выполнен по четырехконтактной схеме (за рубежом 4-pointcontact или arc-contactbearing) с регулируемым люфтом, что позволило обойтись одним рядом шариков при минимальном люфте и снизить массу;

- шарики выполнены из полиацетала;

- корпус статора выполнен из прочного полиамида «Римаид-200»;

- в качестве фазных обмоток применена лента из медной фольги, что упростило намотку и повысило точность расположения проводников в обмотках;

- высококоэрцитивные магниты выполнены из сплава неодим-железо-бор;

- мотор имеет 14 пар полюсов магнитов;

Основные публикации по теме

1. Авиационные моментные двигатели / Л.И. Столов, Б.Н. Зыков, А.Ю. Афанасьев, Ш.С. Галеев. – М.: Машиностроение, 1979. – 136 с.

2. Столов Л.И., Афанасьев А.Ю. Моментные двигатели постоянного тока. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 224 с.

3. Афанасьев А.Ю. Моментный электропривод. Казань: Изд-во КГТУ им. А.Н.Туполева, 1997. – 25

РАЗРАБОТКА АВТОПИЛОТА САМОЛЕТА СВВП

Дмитриев Иван Алексеевич, dmitriev.ivan@mail.ru
Зименская Элина Владимировна, lukkaz@ya.ru

Аннотация: Обсуждаются особенности автопилота самолета СВВП.

Abstract: The paper discusses the features of autopilot tiltrotor

Ключевые слова: конвертоплан, БПЛА, скоростное воздушное судно вертикального взлета и посадки, автопилот

Летательные аппараты тяжелее воздуха делятся на два основных вида: самолеты и вертолеты. Самолеты имеют большую продолжительность и дальность полета, но для старта и посадки требуют аэродромы, либо катапульты и парашюты. Вертолеты могут взлетать и садиться точно, но при этом существенно проигрывают в дальности и продолжительности полета самолетам. Выходом из этой ситуации является создание аппаратов, которые взлетают как вертолет, а летят как самолет. В 60 – 80 годы в «большой» авиации были реализованы следующие аппараты: ЯК-141, Harrier, V-22 Osprey. Беспилотная авиация только к настоящему времени созрела до проектирования конвертопланов.

Автопилоты для самолетов и коптеров различны как по набору датчиков, так и по уравнениям. В связи с этим, невозможно, домножив уравнения автопилота на синус или косинус угла поворота мотогондол силовых установок, получить искомые зависимости. Здесь возникает вилка решений:

либо сделать дискретный переключатель между взлетно-посадочным режимом и режимом горизонтального полета, либо все же продолжить синтез «гладкого» автопилота, т.е. автопилота у которого его уравнения реализованы с учетом угла поворота мотогондол.

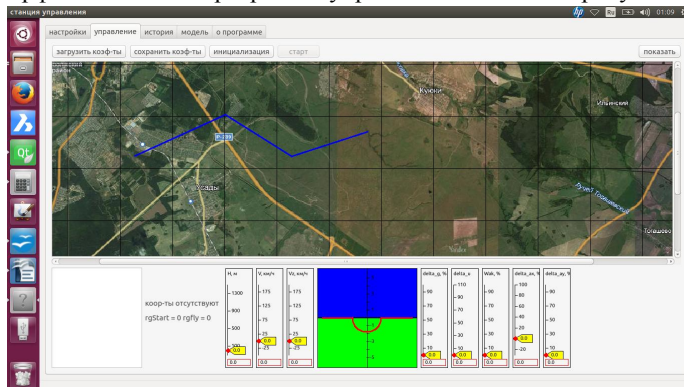
Для аппаратов типа Zelator-28 наличие автопилота отдельно для взлетно-посадочного режима отдельно для режима горизонтального полета очевидное решение. Однако все равно необходимо позаботиться о номенклатуре датчиков. Для аппаратов поворотными мотогондолами типа Bell V-22 Osprey представляется недопустимым наличие только двух режимов работы автопилота.

В рамках разработки конвертоплана [1] разработан автопилот. В состав автопилота входят:

- 32-разрядный процессор;
- модуль GPS;
- датчик высоты;
- датчик скорости;
- 3 акселерометра;
- 3 датчика угловых скоростей;
- 16 ШИМ каналов (200 Гц);
- шина 485 интерфейса.

Автопилот предназначен как для управления самолетов и коптеров, так и для управления конвертопланов. По 485 интерфейсу возможно подключение различных устройств, как для управления, так только для сбора данных. Размеры 50 x 80 x 15 мм.

Интерфейс наземной программы управления показан на рисунке.



Литература

1. Дмитриев И.А., Зименская Э.В. Разработка беспилотного конвертоплана с убирающимися в фюзеляж подъемными силовыми установками // Материалы докладов международной научно-технической конференции "Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы - 2016". Ч. 2. - Казань, 2016. - 284 с., ил.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ НА УСТАНОВКЕ ОСУШКИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ

А.Н. Долгова, М.А. Паулкин
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»
420066, г. Казань, ул. Красносельская, д.51

Аннотация. Показаны результаты расчета абсорбера предназначенного для осушки углеводородного газа.

Annotation. The results of calculating the absorber of a hydrocarbon gas.

Ключевые слова: углеводородные газ, энергосбережение, осушка газа.

За последние 20 лет доля природного газа в балансе первичных энергоресурсов возросла с 17 до 21 %, доля нефти снизилась с 49 до 40 %, а угля с 30 до 27 %. Таким образом, роль газа, как наиболее экологически чистого вида топлива, заметно возрастает и, по прогнозам экспертов, его доля в энергобалансе мира к середине XXI века может составить 28-30 %.

Одними из наиболее энергоемких процессов на предприятиях топливно-энергетического комплекса являются процессы абсорбции влаги из природного газа и регенерации насыщенного влагой абсорбента. Поэтому при значительных масштабах расхода энергии на предприятиях ТЭК каждый процент экономии может дать значительный эффект в народном хозяйстве.

Повышение конкурентоспособности выпускаемой продукции и снижение энергозатрат возможно двумя путями: разработкой новых технологий и аппаратного оформления технологического процесса или модернизацией действующих установок и производств. Второй путь характеризуется меньшими материальными затратами и сроками выполнения работ.

Нефтяные и природные газы, добываемые из недр, а также углеводородные газы, содержащие кислые (нежелательные) компоненты и подвергаемые очистке водными растворами активных веществ, насыщены водяным паром. Их влагосодержание зависит от давления, температуры и химического состава газа.

Наличие в газе избыточной влаги вызывает ряд серьезных проблем при транспортировании газа. При обработке и транспортировании газа за счет снижения температуры в системе происходит конденсация водяных паров и следовательно образование в ней водного конденсата. Последний с компонентами природного газа образует гидраты. Гидраты, отлагаясь в газопроводах, уменьшают их сечение, а иногда приводят к аварийным остановкам. В связи с этим природные и нефтяные газы перед подачей в магистральные газопроводы и в цикле переработки подвергаются осушке.

Газ осушают для того, чтобы температура его точки россы по воде стала ниже минимальной температуры в системах транспортирования или переработки газа. В технологии газопереработки абсорбционная осушка газа концентрированными растворами ди- или триэтиленгликоля является основным методом. При этом остаточная влажность (точка россы) газа на выходе из

гликолевой колонны (абсорбер) зависит от влагосодержания гликоля, поступающего в аппарат [1, 2].

Выполнен расчет абсорбера для осушки природного газа сеноманской залежи Заполярного газонефтеконденсатного месторождения (ГНКМ) 98 % раствором диэтиленгликоля. Относительная влажность газа составляла 100 %. Давление в аппарате 8 МПа. Точка россы осушенной газовой смеси -10 °С. Состав природного газа дан в таблице 1. Материальный и тепловой балансы приведены в таблицах 2 и 3 соответственно.

Таблица 1. Состав газового сырья

| Компонент | Количество газового сырья, кг/ч |
|-------------------------------|---------------------------------|
| CH ₄ | 295290 |
| C ₂ H ₆ | 618,75 |
| C ₃ H ₈ | 165 |
| N ₂ | 5775 |
| CO ₂ | 2805 |
| Σ | 304653,75 |

Таблица 2. Материальный баланс осушки углеводородного сырья

| Поток, поступающий в аппарат | Количество, кг/ч | Поток, выводимый из аппарата | Количество, кг/ч |
|-------------------------------|------------------|------------------------------|------------------|
| Увлажненная парогазовая смесь | 304656,3 | Осушенная газовая смесь | 304603,7 |
| Свежий раствор гликоля | 214,3 | Насыщенный раствор гликоля | 266,9 |
| Σ | 304870,6 | Σ | 304870,6 |

Таблица 3. Тепловой баланс абсорбера

| Наименование теплового потока | Температура, °С | Количество тепла, кВт |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------------|
| Приход | | |
| Газовое сырье | 27 | 5488,3 |
| Свежий раствор гликоля | 27 | 3,8 |
| Тепло конденсации и растворения воды | – | 1,57 |
| Тепло растворения углеводородов | – | 2,44 |
| Σ | – | 5596,11 |
| Расход | | |
| Осушенный газ | 27 | 5487,4 |
| Насыщенный раствор гликоля | 50 | 8,71 |
| Σ | – | 5596,11 |

Расчет тарельчатого аппарата выполнялся по теоретическим тарелкам с дальнейшим уточнением КПД тарелки, также производилась проверка

работоспособности выбранного контактного устройства. Расчет насадочного аппарата выполнялся по уравнениям, полученным на основе теории диффузионного пограничного слоя и моделей структуры потока.

Результаты расчетов аппаратов с рассматриваемыми контактными устройствами представлены в таблице 4.

Для сравнения был произведен расчет аппарата с тарельчатыми (ситчатая тарелка, свободное сечение 10 %, высота сливной планки 30 мм) и насадочными контактными устройствами (стальные кольца Рашига 25x25 и насадка «Инжехим-2000»).

Таблица 4. Результаты расчета аппаратов

| Параметр | Контактное устройство | | |
|--|-----------------------|---------------------|-------------------|
| | Ситчатая тарелка | Кольца Рашига 25x25 | Насадка «Инжехим» |
| диаметр абсорбера | 2,2 м | 2,2 м | 2,0 м |
| количество тарелок / высота слоя насадки | 10 штук | 3,7 м | 3,0 м |
| гидравлическое сопротивление колонны | 8993 Па | 2125 Па | 1030 Па |

Во всех аппаратах осушка газа достаточна для его последующей переработки, транспортировании и использовании при соответствующих температурах и давлениях.

По приведенным данным видно, что аппарат с насадочными контактными устройствами «Инжехим» обладает меньшей металлоемкостью и гидравлическим сопротивлением колонны. В связи с этим абсорбер с насадочными контактными устройствами фирмы «Инжехим» позволит уменьшить энергетические затраты в 8 раз по сравнению с аппаратом с ситчатыми тарелками и в 2 раза по сравнению с аппаратом с кольцами Рашига.

Литература

1. Технология переработки природного газа и конденсата: Справочник: В 2 ч. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. – Ч.1. – 517 с.
2. Кузнецов А.А. Расчеты основных процессов и аппаратов переработки углеводородных газов: Справочное пособие / А.А. Кузнецов, Е.Н. Судаков. – М.: Химия, 1983. – 224 с.

ПРИМЕНЕНИЕ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ЖИДКИХ СРЕД

А.Н. Долгова, А.М. Кадыров, П.В. Горожанкина, А.Р. Арсланов, А.А. Яруллина

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»
420066, г. Казань, ул. Красносельская, д.51

Аннотация. Рассмотрены примеси природных вод, а также варианты их очистки от истинно растворенных примесей с помощью сорбционных материалов.

Annotation. Considered impurities of natural waters, as well as options to clean them from the truly dissolved contaminants using sorption materials.

Ключевые слова: сорбент, водоподготовка.

В качестве источников водоснабжения промышленных предприятий используются жидкие среды - поверхностные (реки, озера, пруды) или подземные (артезианские скважины) природные воды. В этих водах содержатся разнообразные примеси естественного и техногенного происхождения.

В зависимости от размера частиц все примеси воды разделяются на три группы:

- грубодисперсные примеси с размером частиц более 10^{-4} мм. то растительные остатки, частицы песка, глины и т.д.;

- коллоидно-растворенные примеси с размером частиц $10^{-4} - 10^{-6}$ мм. Эти примеси образованы большим числом молекул и могут быть как органического (гуминовые вещества, вымываемые из почвы), так и минерального (кремниевые кислоты, соединения железа) происхождения;

- истинно растворенные примеси находятся в воде в виде ионов, отдельных молекул, комплексов или групп молекул с размером частиц менее 10^{-6} мм. К последней группе можно отнести растворенные газы O_2 , CO_2 , H_2S , N_2 , катионы и анионы солей Ca^{2+} , Mg^{2+} , N^+ , K^+ , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- .

Проблема очистки воды от содержания истинно растворенных примесей особенно актуальна для области теплоэнергетики, где вода используется в больших количествах. Надежность и экономичность, работы оборудования предприятия определяется качеством работы водоподготовительных установок и состава технологической воды.

В тех случаях, когда исходная концентрация удаляемых ионов в жидкой среде относительно мала, а степень извлечения должна быть высокой, наиболее целесообразным является применение сорбционных методов. Эти методы достаточно хорошо зарекомендовали себя при решении широкого круга задач, связанных с глубокой очисткой жидких сред от солей жесткости, железа, растворенных газов, а также технологических растворов от примесей металлов, содержание которых ограничено регламентными требованиями производств.

Сорбционные методы очистки жидких сред, в частности воды, являются наиболее перспективными и ресурсосберегающими для систем водоснабжения и водоотведения. Используемые сорбционные материалы должны быть просты в эксплуатации и обладать высокими технологическими характеристиками.

Сорбционные материалы – это твердые тела или жидкости, избирательно поглощающие (сорбирующие) из окружающей среды газы, пары или растворённые вещества. В зависимости от характера сорбции различают адсорбенты – тела, образующие с поглощённым веществом твёрдый или жидкий раствор, адсорбенты – тела, поглощающие (сгущающие) вещество на своей (обычно сильно развитой) поверхности, и химические поглотители, которые связывают поглощаемое вещество, вступая с ним в химическое взаимодействие. Отдельную группу составляют ионообменные сорбционные материалы (иониты), поглощающие из растворов ионы одного типа с выделением в раствор эквивалентного количества ионов другого типа.

В энергетике широко применяются адсорбенты для очистки от различных примесей жидких сред, в частности используются активированный уголь, силикагель, оксид алюминия, диоксид кремния, различные ионообменные смолы, дибутилфталат и другие.

Большая часть существующего оборудования, каких предприятий энергетики как ТЭЦ, ГРЭС и ТЭС изготавливается из металлических сплавов. От исходного состава подпиточного агента и зависит срок службы парогенераторов, лопаток турбин и всей системы пароводяного тракта в целом. Именно поэтому главный «враг» энергопредприятий – это склонные к солеобразованию примеси, содержащиеся в подпиточной воде. С помощью сорбционных материалов достигается глубокое обессоливание рабочего тела – воды.

На европейских теплоэнергетических предприятиях КПД потерь составляет всего 0,25% в день. Такие высокие результаты работы достигаются за счет комбинации нескольких традиционных и инновационных методов обессоливания и очистки используемого сырья и подпиточной воды. Срок службы оборудования предприятий теплоэнергетики при таких условиях достигает 30-50 лет.

ПРОБЛЕМА ЗАГРЯЗНЕНИЯ СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА.

Имелбаева Э.В., Снигирева Ю.В., Новиков В.Ф.

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
420066, Казань, Красносельская, 51
e-mail: ee-kgeu@mail.ru

Аннотация. В работе обсуждаются вопросы загрязнения сточных вод гальванического производства с использованием различных технологических

приёмов. Большое внимание уделяется сорбционным методам очистки сточных вод, особенно с использованием природных сорбционных материалов.

Annotation. In this work, issues of pollution by sewage of galvanic production are discussed with use of various processing methods. Much attention is paid to getter methods of a sewage disposal, especially with use of natural sorbents.

Ключевые слова: очистка, электродиализ, металлы, сорбент.

Очистка сточных вод методом гальванокоагуляцией основано на электрохимической обработки воды в электрическом поле под действием электрического тока, который возникает при переменном контакте гальванопары. Достоинство метода заключается в малой энергоёмкости и низких эксплуатационных затрат, высокая скорость процесса, очистка до требований норм ПДК [1-3].

Недостатки метода связаны с высокой трудоёмкостью при смене загрузки, необходимость использования большого комплекса реагента, образованных значительной массы твердых осадков и сложность их обезвреживания.

Для очистки сточных вод от тяжелых металлов используется также мембранные методы разделения, которые подразделяются на микрофильтрацию, ультрафильтрацию, обратный осмос, диализ и электродиализ [4-6].

Обратным осмосом и ультрафильтрацией называют процессы фильтрации растворов через полупроницаемую мембрану под давлением, превышающим осмотическое. Как правило, полупроницаемые мембраны пропускают молекулы растворителя, задерживая растворенные вещества. Обратный осмос отделяет частицы, молекулы и гидратированные ионы, размеры которых не превышают размер молекул растворителя, когда размер отдельных частиц по порядку больше, то этот метод называется ультрафильтрацией [7-9]. От обычных процессов фильтрации такие процессы отличаются отделением мелких частиц. Для проведения процесса обратного осмоса, необходимо давление от 6 до 10 МПа, что значительно больше, чем для процесса ультрафильтрации (от 0,1 до 0,5 МПа). При этом с ростом скорости фильтрации, снижается рН в 3-4 раза, а при более низких значениях рН уменьшается срок службы мембран [10-13].

Достоинство метода заключается в возможности очистки до требований норм ПДК, возможность утилизации тяжелых металлов, а также очистки сточной воды в присутствии лигандов, образующих прочные комплексные соединения. Недостатки метода обусловлены предвратительной очисткой сточных вод от масел, поверхностно-активных и органических веществ, растворителей, дефицитность мембран, отсутствие селективности, чувствительности мембран к изменению параметров очищаемых сточных вод, высокие капитальные затраты.

Метод электродиализа основан на избирательном переносе ионов через перегородки, изготовленные из ионитов под действием электрического тока.

В этом методе, как правило, используют пакеты из чередующихся анионо- и катионообменных мембран. Ионообменные мембраны проницаемы только для ионов, имеющих заряд того же знака, что и у подвижных ионов. Недостатки этого метода заключается в высокой капиталоемкости, а электродиализаторы имеют большие мембранные расстояния, что приводит к увеличению их размеров [14-17].

Достоинство метода заключается в возможности утилизации компонентов, проведения процесса при комнатных температурах без применения химических реактивов, простота конструкции технологической аппаратуры, а также очистка сточной воды до требований норм ПДК.

Недостатки метода обусловлены необходимостью предварительной очистки сточных вод от органических веществ, масел, растворителей, взвешенных веществ, солей жесткости, значительный расход электроэнергии, дефицитность и высокая стоимость мембран, сложность эксплуатации, отсутствии селективности, чувствительность к изменению физико-химических характеристик сточной воды.

Наиболее широко для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов применяются сорбционные методы, где в качестве сорбентов используют различные пористые материалы. В качестве адсорбентов наиболее часто используют активированный уголь, синтетические цеолиты, золу, шлак, древесные опилки и др.[18].

Наиболее универсальный адсорбентом является активированный уголь, который слабо взаимодействует с молекулами воды и хорошо с органическими веществами, имеет относительно крупные поры, обладает слабой сорбируемостью при регенерации, и высокую смачиваемость, имеет малую каталитическую активность и низкую стоимость.

В последнее время для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов стали применяются природные цеолиты, которые обладают высокой сорбционной емкостью по отношению к тяжелым металлом и имеют низкую стоимость [18-23].

Литература.

1. Виноградов С.С. Экологически безопасное гальваническое производство/ С.С. Виноградов; под ред. проф. В.Н.Кудрявцева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Глобус, 2002. – 352 с.
2. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник/ А.С. Тимогин. – Калуга.: издательство Н.Бочкаревой, 2003. – Том 2. – 917 с.
3. Колесников В.А. Экология и ресурсосбережение в электрохимических производства. Механические и физико-химические методы очистки промывных и сточных вод: Учеб. пособие/ В.А. Колесников, В.И. Ильин. – М.: РХТИ им. Д.И. Менделеева, 2004. – 220 с.
4. Родионов А.И. Защита биосферы от промышленных выбросов. Основы проектирования технологических процессов/ А.И. Родионов, Ю.П. Кузнецов, Г.С. Соловьев. – М.: Химия, КолосС, 2005. – 392 с.

5. Смирнов Д.Н. Очистка сточных вод в процессах обработки металлов/ Д.Н. Смирнов, В.Е. Бенкин. – М.: Metallurgy, 1980. – 195 с.
6. Колесников В.А. Экология и ресурсосбережение в электрохимических производствах. Электрофлотационная технология очистки сточных вод: Учеб.пособие/ В.А. Колесников, В.И. Ильин. – М.: ИЦ РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2003-104 с.
7. Савранская Т.М. Правила приема производственных сточных вод в московскую городскую канализацию/ Т.М. Савранская, Ю.Ф. Эль, Л.Н. Алексеева.-М.:Мосводоканал,1992.-19с.
8. Кульский Л.А. Справочник по свойствам, методам и очистке воды: в 2-х частях/ Л.А. Кульский, И.Т. Горонский [и др.]. – Киев.: Наукова думка, 1980. – 1206с.
9. Яковлев С.В. Очистка производственных сточных вод/ С.В. Яковлев. – М.: Строиздат,1985.-337с.
10. Колесников В.А. Электрофлотационная технология очистки сточных вод промышленных предприятий/ В.А. Колесников, В.И. Ильин, Ю.И. Капустин [и др.]; под ред. В.А. Колесников. – М.: Химия, 2007. – 304с.
11. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологи: Учебное пособие для вузов/ К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков; под ред. чл.-корр. АН СССР П.Г. Романкова. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1987.- 576 с.
12. Луценко М.М. Совершенствование технологии очистки стоков гальванических производств от ионов меди и никеля. – Санкт-Петербург, 2004.-16с.
13. Бейгельдруд Г.М. Технология очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов/ Г.М. Бейгельдруд. – М.: Строиздат, 1999. – 445с.
14. Быкова Я.П. Задача оптимального проектирования системы очистки сточных вод гальванического производства/ Я.П. Быкова, Б.В. Ермоленко// Химическая технология. – 2009. - № 10. – с. 623-631.
15. Красногорская Н.Н. Физико-химическое сопоставление реagentных методов очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов/ Н.Н. Красногорская, Е.Н. Сапожников, А.Т. Набнев и др.// Успехи современного естествознания.- 2004.-№2.-с.114-115.
16. Киселева Н.В. Реagentная очистка сточных вод гальванического производства от ионов тяжелых металлов/ Н.В. Киселева. – Казань, 1999. – 237с.
17. Назаров М.В. Очистка природных и сточных вод с применением электрохимических методов-Уфа, 2008.-184с.
18. Селицкий Г.А. Электроагуляционный метод очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов/ Г.А. Селицкий. Охрана окружающей среды: Обзор информ. // ЦНИИ цветмет экономики и информации. – М, 1987. – вып. №2. – с. 24.
19. Лебедев К.Б. Иониты в цветной металлургии/ К.Б. Лебедев, Е.И. Казанцев, В.М. Розманов [и др.]. – М., 1975. – 352 с.

20. Новиков В.Ф., Осипов А.Л., Гиниятова Л.М., Сайфиева А.Р., Оценка сорбционных свойств органических растворителей// Материалы XIII Международной научно-практической конференции г. Белгород, 2016 г. С.-129-130.

21. Новиков В.Ф., Снигирева Ю.В., Хабабудинов Д.А., Ялалов И.Ф., Сайфиева А.Р., Гиниятова Л.М. Новые природные материалы для сорбции органических растворителей// В сб. матер. междун. науч.-техн. конф. «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы 2016» ч.1. Казань, 2016, с. 137-139.

22. В.Ф. Новиков, Ю.В. Снигирева, Д.А. Хабабудинов, И.Ф. Ялалов, А.Р. Сайфиева, Л.М. Гиниятова. Применение новых сорбционных материалов в энергетике.// В об. VIII Всероссийском научно-технической конференции «Энергетика: состояние, проблемы, перспективы». Оренбург: ООО Агентство «Пресса», 2016.- с.38-40.

23. Мургазина Г.Р., Снигирева Ю.В., Новиков В.Ф. Сравнительная характеристика адсорбционной способности природных и синтетических пористых материалов// Материалы XII Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых ИГЭУ, г. Иваново, 2017, Т.1, с. 211-212

РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ СИСТЕМЫ ГОЛОВНОГО ОСВЕЩЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ГРУЗОВОГО ТРАНСПОРТА

Камалов Риназ Рифатович, Салимов Радий Ильдусович

кафедра электрооборудования, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»
(КНИТУ-КАИ),
420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

Аннотация: Представлена характеристика системы головного освещения на микроконтроллере. Приведена сравнительная характеристика функций автомобиля с водителем и автомобиля в беспилотном варианте, разработана функциональная схема работы системы.

Abstract: The characteristic of system of head lighting on the microcontroller is submitted. The comparative characteristic of functions of the car with the driver and the car is provided in pilotless option, the functional scheme of the system operation is developed.

Ключевые слова: система головного освещения автомобиля, автомобильные фары, внешнее освещение автомобиля, адаптивное освещение.

В настоящее время все большее внимание производителями автомобилей

уделяется обеспечению безопасности движения. Развиваются системы пассивной и активной безопасности, системы сигнализации и предупреждения. В последнее время много внимания уделяется новым аспектам безопасности, в частности контролю состояния водителя, адаптации автомобиля к условиям движения.

Система автоматического управления освещением является сегодня одним из важных направлений повышения комфорта и надёжности автомобильных систем. Актуальность данной тематики очевидна, поскольку в настоящее время развитие автомобильной бортовой электроники имеет колоссальные масштабы. Главной идеей такого развития является роль человека в управлении агрегатами автомобиля с целью снижения утомляемости водителя, повышения комфортабельности и безопасности, а также использование подобных систем в беспилотных транспортных средствах (БПТС).

Целью работы является разработка системы головного освещения БПТС, назначением которой является информирование участников дорожного движения о характере движения беспилотного грузового автомобиля, о совершаемом маневре, о виде транспортного средства, его габаритах на основе сбора информации о дорожной ситуации, времени суток, сезона эксплуатации.

Наиболее близкой к разрабатываемой системе (прототипом) является система адаптивного освещения AFL [1].

Нами определены требования, предъявляемые к разрабатываемой системе:

1) БПТС должен быть заметным для других участников дорожного движения;

2) БПТС должен «видеть» и анализировать дорожную обстановку.

Таким образом, предлагается рассматривать следующие функции головного освещения с адаптивной системой освещения БПТС:

- ближний свет;
- адаптивное освещение поворотов;
- освещение перекрестков;
- подсвечивание пешеходов;
- динамические указатели поворотов;
- габаритное освещение.

Сравнительные характеристики функций автомобиля с водителем и автомобиля в беспилотном варианте представлена в таблице 1.

Отмечаем, что для беспилотного варианта автомобиля функции дальнего света и противотуманного освещения предлагается исключить, так как они предназначены для водителя и не являются необходимыми элементами интеллектуального освещения БПТС.

Сравнительные характеристики функций автомобиля с водителем и автомобиля в беспилотном варианте

| № п/п | Функция головного освещения | Автомобиль с водителем | БПТС |
|-------|----------------------------------|------------------------|------|
| 1. | Ближний свет | + | + |
| 2. | Дальний свет | + | - |
| 3. | Адаптивное освещение поворотов | + | + |
| 4. | Освещение перекрестков | + | + |
| 5. | Подсвечивание пешеходов | + | + |
| 6. | Динамические указатели поворотов | + | + |
| 7. | Габаритное освещение | + | + |
| 8. | Противотуманное освещение | + | - |
| 9. | Проблесковый маячок | +/- | + |

Функциональная схема должна быть построена на основе предложенных рекомендаций.

Ниже представлена функциональная схема устройства системы адаптивного освещения (рис.1) с учетом предлагаемых рекомендаций и сведений, представленных в [2], [3].

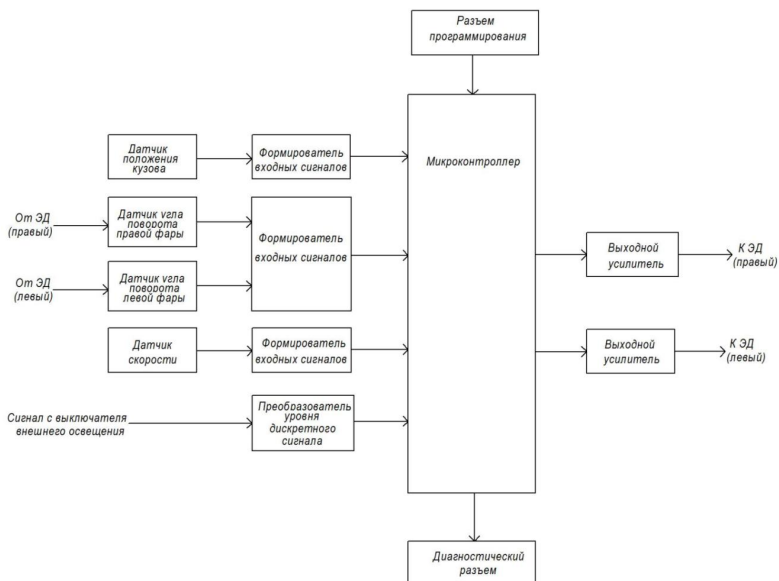


Рисунок 1 – Функциональная схема устройства системы адаптивного освещения

Система содержит датчик положения кузова, назначение которого вырабатывать сигналы, пропорциональные отклонению положения кузова от горизонтального положения в осях – ОУ. Ось ОУ направлена в поперечном направлении и характеризует крен автомобиля в процессе движения. Алгоритмы управления фарами могут потребовать измерения не только положения, но и скорости изменения положения автомобиля. В данном проекте будет использоваться алгоритмическое оценивание скоростей по результатам измерения положений.

Вместе с датчиками положения кузова на формирователи входных сигналов подается выход датчики углов поворота фар, которые могут поворачиваться в горизонтальном направлении. Особенностью работы системы управления фарами в вертикальном направлении является высокое требуемое быстродействие системы при неровной дороге.

Формирователи входных сигналов для указанных датчиков представляют собой масштабирующие и буферные усилители, согласующие сигналы датчиков по уровню и по мощности с входами микроконтроллера.

Сигналы с формирователей поступают на многоканальный АЦП, встроенный в микроконтроллер.

Как отмечалось, выход датчика скорости представляет собой импульсный сигнал, поэтому формирователем для него является масштабирующий усилитель и одно вибратор, формирующий меандр. Выход данного преобразователя подключается к дискретному порту, который может обрабатываться по прерыванию, вызванному положительным фронтом.

Дискретными сигналами являются сигналы сигнализации включенного освещения и указателя поворота. Они подаются на дискретные порты и также обрабатываются по прерываниям, вызываемым положительным фронтом.

Выходные сигналы подаются на усилители, обеспечивающие гальваническую развязку и усиление сигналов с портов микроконтроллера. Сигналы, подаваемые для поворота фар, являются аналоговыми, поэтому это выходы многоканального ЦАП, встроенного в микроконтроллер.

Сигналы на включение ламп бокового света являются дискретными, поэтому они подаются на выходы дискретного порта.

Для программирования и диагностики системы управления предусмотрены соответствующие разъемы. Для уменьшения числа используемых портов устройства предполагается, что диагностика и программирования осуществляются через один порт. Для этого может быть использован параллельный порт.

Программирование и диагностика системы осуществляется посредством персональной ЭВМ или ноутбука, поэтому требуется наличие соответствующего интерфейса. При использовании ноутбука может потребоваться преобразователь, работающий с напряжениями последовательного интерфейса 3 В.

Представленная функциональная схема является основой для дальнейшей разработки системы головного освещения БПТС.

Разработка системы ведется в рамках открытого проекта в студенческой

научной лаборатории «Интеллектуальные системы транспортных средств» кафедры электрооборудования КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева.

ЛИТЕРАТУРА

1. Система адаптивного освещения дороги. [Электронный ресурс] // Сайт «Знание авто.ру»: URL: <http://znanieavto.ru/svet-zvuk/sistema-adaptivnogo-osveshheniya-dorogi.html> (Дата обращения 10.10.2017).
2. Камалов Р.Р., Салимов Р.И. Интеллектуальная система головного освещения беспилотного грузового транспорта. //XXIII Туполевские чтения (школа молодых ученых): Международная молодёжная научная конференция, Казань, 8-10 ноября 2017 г.: Материалы конференции. Сборник докладов. Казань: Изд-во КГТУ им. А.Н. Туполева (в печати).
3. Сборник научных статей IV Международной научно-практической конференции «Научные чтения имени профессора Н.Е. Жуковского» 17–19 декабря 2013 года, с. 193-196

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ДИСКОВОЙ ФРЕЗЫ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС

Кондрашов Алексей Геннадьевич¹, Мифтахов Алмаз Фаилевич¹,
Мухаметдинов Раис Глусович¹, Гильман Виталий Николаевич²

¹Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВПО Казанский
(Приволжский) Федеральный Университет
423812, г. Набережные Челны, пр. Мира, 68/19

²ПАО КАМАЗ 423812, г. Набережные Челны, пр. Автозаводский, 2

Аннотация. В работе рассмотрена возможность использования современного фрезерного оборудования с ЧПУ для обработки опытных партий зубчатых колес. Приведены формулы расчета координат точек траектории режущего инструмента.

Abstract. The paper discusses the possibility of using modern milling equipment with CNC for processing of experimental batches of the gears. The formulas for calculating the coordinates of the trajectory points of the cutting tool.

Ключевые слова: Зубчатый венец, фрезерование, числовое программное управление, дисковая фреза

Keywords: Ring gear, milling, numerical control, disc mill

Основными методами фрезерования зуба являются метод профильного фрезерования (метод копирования с единичным делением) и метод обкатного фрезерования. В первом случае инструментом являются дисковые модульные фрезы (реже пальцевые модульные фрезы), во втором – червячные фрезы [1].

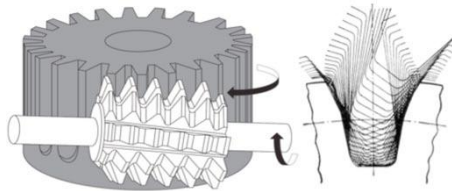


Рис. 1. Фрезерование зубьев червячной фрезой

Обработка зубьев червячными фрезами (см. рис. 1) является достаточно производительным методом и широко применяется для серийного выпуска зубчатых колес. К недостаткам метода относится низкая универсальность инструмента. Для обработки стандартных зубчатых колес требуется фреза с соответствующим модулем. Если же исходных контур зубьев имеет отличия от стандартного то фреза должна быть специальная. Отличия от стандартного исходного контура могут быть в величине угла профиля, высоте ножки и головки зуба, наличии фасок и поднутрений. Аналогичными недостатками обладают и инструменты работающие по методу зуботочения [2].

Любое отклонение от стандартного исходного контура приведет к значительному увеличению сроков и затрат на подготовки производства (проектирование и изготовление специального инструмента).

Однако совершенствование продукции зачастую требует использовать все возможные резервы [3] для повышения несущей способности, уменьшения габаритов, увеличения передаваемых моментов. В таких случаях есть потребность изготовления небольших опытных партий изделий с нестандартными зубчатыми колесами.

Одним из технических решений позволяющих выполнить обработку зубчатых колес универсальным инструментом является метод InvoMilling (Sandvik Coromant) [4]. Разработчиком предлагается компьютерная программа (рис. 2) позволяющая рассчитать траектории движений универсального инструмента (дисковой или концевой фрезы) и сформировать управляющую программу для 5-ти координатного станка с ЧПУ.

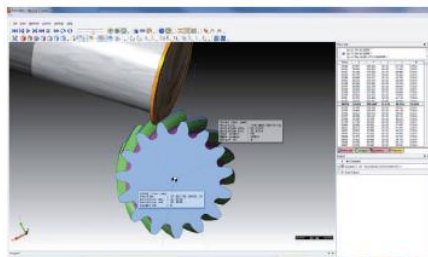


Рис. 2. Окно программы InvoMilling

Основные недостатки технологии InvoMilling – это высокая стоимость лицензии и необходимость использования режущего инструмента фирмы Сандвик Коромант, также достаточно дорогостоящего.

Обработке цилиндрических зубчатых колес на 4-х координатном фрезерном станке с ЧПУ концевой фрезой посвящена работа [5]. В работе предложены схемы черновой и чистовой обработки зубьев (рис. 3). Черновая обработка выполняется при прерывистом делении по угловой координате и трехкоординатной обработке каждой впадины. Чистовая обработка выполняется при непрерывном движении по всем четырем координатам.

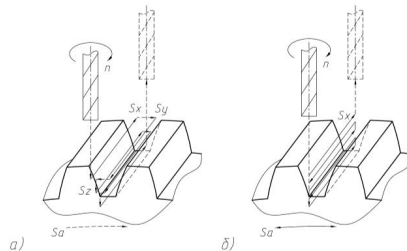
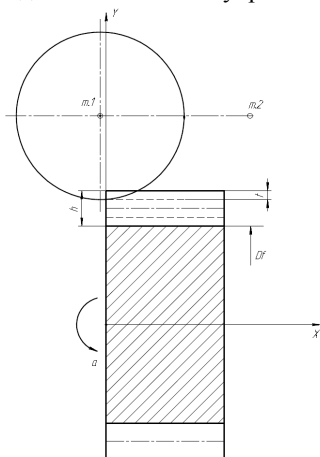


Рис. 3. Схема черновой обработки зубьев концевой фрезы (а – схема черновой обработки, б – схема чистовой обработки)

В данной работе предложена обработка зубьев зубчатых колес дисковой фрезой (рис. 4). на пятикоординатном фрезерном станке с ЧПУ при непрерывном движении по всем управляемым осям.



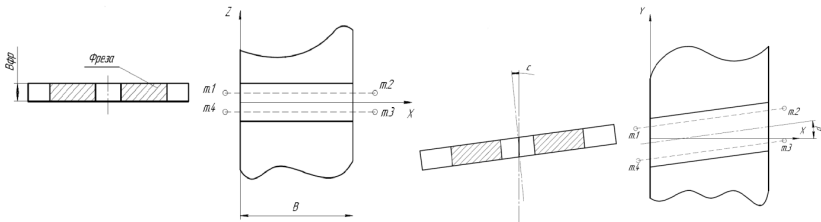


Рис. 4. Схема обработки зубьев дисковой фрезой

Расчет координат точек траектории дисковой фрезы представлен в блок-схеме (рис. 5) и включает определение вспомогательных параметров зубьев и расчет координат 4-х точек траектории в каждом слое. Расчет основан на расположении периферии дисковой фрезы нормально к боковой стороне зуба.

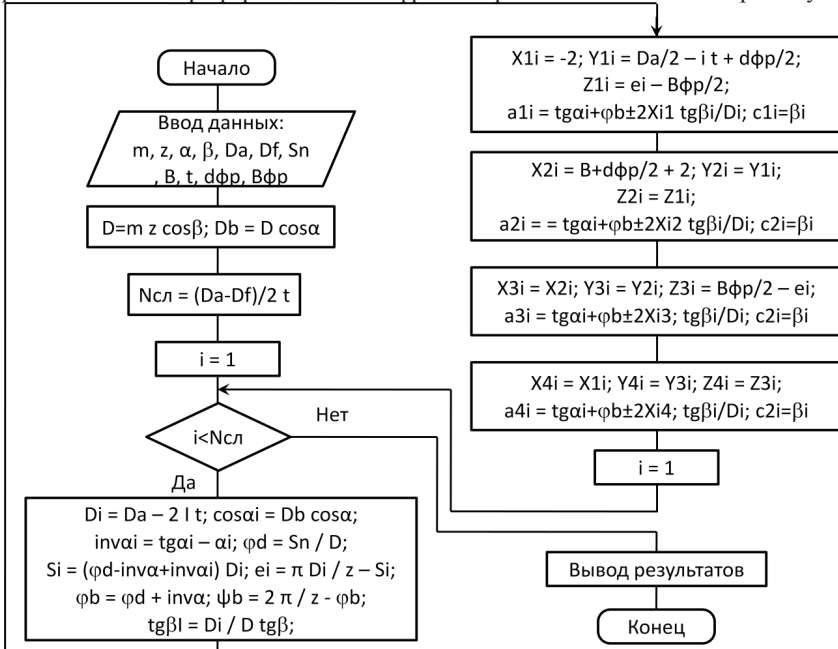


Рис. 5. Блок-схема расчета точек траектории инструмента

Метод является более производительным по сравнению с описанным в [5] и обеспечивает более высокую стойкость инструмента.

Литература

1. Полохин, О.В., Тарапанов, А.С., Харламов, Г.А. Нарезание зубчатых профилей инструментами червячного типа: справочник / под ред. Г.А. Харламова. – М.: Машиностроение, 2007. 240 с.

2. Golovko A.N., Golovko I.V. Optimal design parameters of a shaving hob for compensation of the systematic error in the gear-tooth profile / Russian Engineering Research. 2013. Т. 33. № 7. Р. 427-428.

3. Кондрашов А.Г. Повышение прочности зубьев зубчатых передач исключением подрезания ножки зуба / Вестник машиностроения. 2015. № 6. С. 67-69.

4. Интернет-ресурс: InvoMilling http://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/calculators_and_software/invo-milling/pages/default.aspx (дата обращения 15.02.2016).

5. Мифтахов А.Ф. Метод обработки зубьев цилиндрических зубчатых колес универсальным инструментом / Сб-к докладов всерос. научн.-практ. конф. «VIII Камские чтения», 22 апреля 2016 г. в 3-х частях. Часть 1 – Набережные Челны: Издательско-полиграф. центр НЧИ КФУ, 2016. С.24-27.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Корольков А.Ю., Павлов П.П., Соловьева С.И., Истоппенников М.А.

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» 420066,
г. Казань, ул. Красносельская, 51

Аннотация. В докладе рассмотрены основные аспекты продления срока службы контрольно-проверочной аппаратуры, диагностирования сложных технических систем, а также выбора диагностических моделей и параметров.

Abstract. The report considers the main aspects of the extension of the service life of the control equipment, the diagnostic parameters of complex technical systems, as well as the selection of diagnostic models and parameters.

Ключевые слова: техническое состояние сложных технических систем, срок службы, контрольно-проверочная аппаратура, диагностические модели, диагностические параметры.

Предупреждение отказов и продление сроков службы контрольно-проверочной аппаратуры (КПА) основывается в значительной степени на технологиях оперативного диагностирования. Тенденция перехода к техническому обслуживанию и ремонту по состоянию распространяется на все новые изделия машиностроения и приборостроения [1].

Возрастающие требования к показателям диагностирования сложных технических систем (СТС) вступают в противоречие с требованиями по сокращению затрат труда высококвалифицированных специалистов, времени и средств, для создания диагностического обеспечения и приспособленной к диагностированию технической системы [2]. Проблема обеспечения заданных показателей диагностирования, по результатам патентных исследований,

решается комплексно, внедрением новых методов и средств диагностирования, согласованных с конструкцией объектов диагностирования, информационной технологии разработки диагностического обеспечения и автоматизацией производства [3].

Диагностические параметры выбираются из состава параметров, характеризующих структурные и функциональные свойства изделия. Структурные параметры обычно труднодоступны при безразборном диагностировании. Функциональные (выходные) параметры не всегда пригодны для прогнозирования технического состояния. Развитие информационной технологии требует новых научных и технических решений задач проектирования и диагностирования, основанных на компьютерном моделировании объектов диагностирования [4].

Выбор диагностических моделей и параметров, для оперативного контроля и прогнозирования технического состояния, методы прогнозирования технического состояния и долговечности основываются на исследовании взаимосвязей между значениями структурных и функциональных параметров. В докладе рассматриваются вопросы определения и прогнозирования технического состояния СТС с использованием математических моделей многофакторного диагностирования.

В докладе рассмотрены основные аспекты продления срока службы контрольно-проверочной аппаратуры, диагностирования сложных технических систем, а также выбора диагностических моделей и параметров.

Литература

1. Павлов П.П., Хаертдинова А.Р., Корольков А.Ю., Соловьева С.И. Диагностирование отказов электротехнического оборудования электроподвижного состава. // В сборнике: Вопросы образования и науки теоретический и методический аспекты. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: Часть 2. 2015. С.108-109.
2. Литвиненко Р.С., Павлов П.П., Гуреев В.М., Мисбахов Р.Ш. Оценка технического уровня сложных систем на этапе разработки // Вестник машиностроения. № 6. 2015.
3. Павлов П.П., Хаертдинова А.Р., Залялов Р.Р. Выбор оптимального варианта многофункциональной технической системы //Международная научно-практическая конференция «Современные тенденции в образовании и науке»: Часть 9.2014. С.102-103.
4. Литвиненко Р.С., Павлов П.П. Методы моделирования процесса функционирования электротехнического комплекса // Наука и современность. 2015. №4(6). С.84-91.
УДК 62

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ В ГИДРОПРИВОДЕ

магистрант Кузнецова Юлия Игоревна
к.т.н. Никонова Татьяна Юрьевна
Карагандинский Государственный Технический Университет

В статье авторами рассмотрены различные методы диагностики рабочей жидкости гидроприводов, произведен их сравнительный анализ.

Известно, что функции, выполняемые рабочей жидкостью, обеспечивают работоспособность гидропривода, его надежность, а также увеличивают срок службы гидравлических устройств. Поэтому необходимо с особым вниманием подходить к выбору рабочей жидкости и контролю ее показателей на протяжении всего срока эксплуатации.

In the article the authors considered various methods for diagnosing the hydraulic fluid of hydraulic drives and performed their comparative analysis.

It is known that the functions performed by the working fluid ensure the operability of the hydraulic drive, its reliability, and also increase the service life of hydraulic devices. Therefore, it is necessary to pay special attention to the choice of working fluid and to monitor its performance throughout the life of the product.

Ключевые слова: машиностроение, гидропривод, рабочая жидкость, износ, старение.

Рабочая жидкость в гидравлическом приводе сельскохозяйственной техники играет очень важную роль. Она выполняет смазку трущихся поверхностей, в следствии чего уменьшаются силы трения и интенсивность износа. Рабочая жидкость снижает температуру нагретых элементов и устройств гидропривода, отводя от них тепло, а также удаляет частицы загрязнения и продукты износа, защищает детали гидравлических устройств от коррозии. Функции, которые выполняет рабочая жидкость обеспечивают работоспособность гидропривода, его надежность, а также увеличивают срок службы гидравлических устройств. Рабочая жидкость в гидроприводе является не только носителем энергии, она также дает информацию о его техническом состоянии.

В основном роль рабочих жидкостей в гидроприводе выполняют различные масла. Рабочие жидкости можно разделить на четыре группы: на нефтяной основе (минеральные масла); синтетические; водосодержащие: водно-гликолевые растворы (вода с присадками), маслородные эмульсии (масло в воде) и водомасляные эмульсии (вода в масле); растительные масла [1].

В процессе эксплуатации происходит старение рабочей жидкости, насыщение ее различными элементами. Наличие в масле химических элементов указывает на признаки износа узлов гидросистемы. Анализ позволяет выявить

присутствие в масле алюминия, бария, бора, ванадия, железа, калия, кальция, кремния, магния, меди, молибдена, натрия, никеля, олова, свинца, серы, серебра, титана, фосфора, хрома, цинка и др. Зная химический состав металлов, из которых изготовлены изнашивающиеся детали, можно определить источник продуктов износа.

Для определения состояния рабочей жидкости применяют различные методы[2]:

- подсчет частиц;
- инфракрасная спектроскопия;
- фотоэлектрический метод;
- аналитическая феррография;
- оптическая и электронная микроскопия;
- рентгеноструктурный анализ;
- химический анализ
- нефелометрический метод

Самым распространенным методом анализа всех рабочих жидкостей и систем является метод подсчета частиц. Данным методом определяют количество и размеры частиц. В ходе анализа по подсчету частиц можно установить класс чистоты рабочей жидкости. Недостатком метода является невозможность распознать природу происхождения частиц загрязнения и определить, имеет ли место износ узлов механизма.

Инфракрасная спектроскопия позволяет получить широкую информацию о состоянии масла, его органической части, и наличии различных присадок. Инфракрасный спектр образца отработанного масла является суммой спектров всех компонентов. Спектроскопия позволяет определить степень окисления, которая является хорошим индикатором старения смазочного масла и истощения антиокислительных присадок.

Метод спектрального анализа часто усложняет необходимость предварительно подготовить рабочую жидкость проведя её озонирование, выпаривание или вакуумирование.

Фотоэлектрический метод регистрации спектра не требует предварительной подготовки рабочей жидкости. При использовании фотоэлектрической установки МФС-3 удаётся проводить анализ сразу на девять химических элементов. Время, затрачиваемое на анализ пробы рабочей жидкости составляет не более 4 минут.

Данный способ выражается высокой чувствительностью к содержанию железа, свинца и кремния до 0,0001 %, хрома, меди и алюминия до 0,00001 % и находит применение при анализе рабочих жидкостей[3].

Недостатком данного метода является невозможность определить источник интенсивного износа, если несколько трущихся сопряжений изготовлены из одного металла, поэтому способ может найти широкое применение при оценке общего технического состояния гидропривода и технического состояния рабочих жидкостей.

Метод аналитической феррографии заключается в магнитном осаждении металлических частиц износа из проб рабочих жидкостей. После магнитного

воздействия на предметном стекле можно увидеть распределение частиц, пробы рабочей жидкости, затем их анализируют с помощью микроскопа в проходящем, отраженном и дихроматическом свете. Можно выделить качественный и количественный феррографический анализ. Качественный анализ дает возможность определить изнашиваемый узел по природе частиц износа. Степень изнашивания деталей по уровню содержания частиц позволяет определить количественная феррография. Феррографический анализ является наиболее информативным методом контроля технического состояния гидросистемы. В отличие от спектрального феррографического анализ предоставляет более подробную информации о частицах износа, позволяет оценить размер частиц износа, форму и состояние поверхности частиц, следовательно, позволяет определить вид износа.

На феррограммах (рисунок 1) показаны частицы нормального износа узла трения отслаиванием, которые имеют гладкую поверхность. Размер частиц нормального износа отслаиванием зависит от степени нагружения узла гидропривода. При приработке частицы износа имеют значительно большие размеры по сравнению с частицами нормального износа, образующимися при приработанном узле. Частицы приработки имеют рваные края и поверхность, покрытую бороздами. Размер частиц износа, образующихся при приработке, во многом зависит от технологии приработки, сорта применяемого при приработке масла.

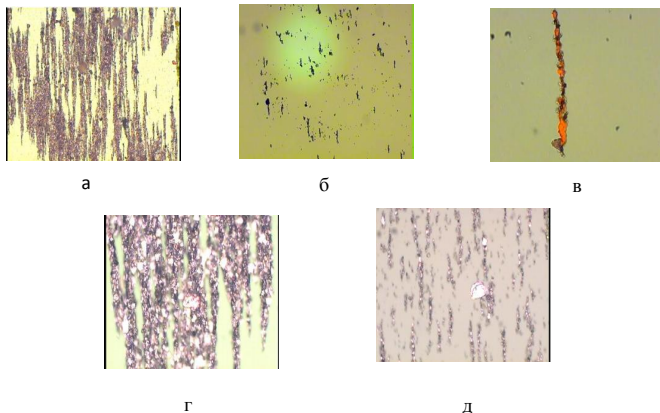


Рисунок 1 – Феррограммы нормального износа

а- большое количество частиц нормального износа в начале феррограммы

(М 100:1)

б - вид среднего участка феррограммы (М 100:1)

в - цепочка частиц нормального износа (М 1000:1)

г - большое количество частиц нормального износа в начале феррограммы (М 500:1)

д - частицы нормального износа в конце феррограммы (М 500:1)

Методом оптической и электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа анализируют не только форму, но также физические свойства и химический состав частиц. Применение этих методов значительно расширяет качественные возможности метода феррографической диагностики.

Нефелометрический метод заключается в сравнении интенсивности двух световых потоков, первый проходит через эталонную жидкость, второй через рабочую, определяя степень ее загрязненности.

Химический анализ в основном используется для определения качества масла и топлива.

На сегодняшний день существуют приборы, которые позволяют анализировать состояние рабочей жидкости непосредственно на месте эксплуатации машины, а также датчики, устанавливающиеся на агрегат и выполняющие анализ во время эксплуатации машины.

Основными контролируемыми параметрами при оценке качества масла являются: содержание механических примесей, диспергирующе-стабилизирующая способность, вязкостно-температурные свойства, характеризующие индексом вязкости. Для реализации данных методов разработаны приборы и мини-лаборатории (СКЛАМТ, СЛАН, СЛЭК, экспресс-комплекты фирм "SHELL", "ESSO", анализатор DT100, измеритель динамической вязкости масел SX-850 и т.д.). Наиболее универсальными являются экспресс лаборатории для исследования качества ГСМ, созданные компанией OnSite Analysis, Inc. (OSA): MOTORCHECK® ON-SITE ANALYZER, TRUCKCHECK® ONSITE ANALYZER, METALCHECK® ON-SITE ANALYZER, а также лабораторные комплексы – OSA3M FOR THE MILITARY и OSA3-M, OSA3 MicroLab™. Компанией Caterpillar разработана программа анализа рабочих жидкостей S•O•S, предназначенная для контроля состояния техники. Основным недостатком указанного оборудования является то, что при его эксплуатации используются специальные фирменные жидкости для промывки и калибровки.

Таким образом, рассмотрев и проанализировав различные методы диагностики рабочих жидкостей можно сделать вывод что, метод подсчета частиц является самым распространенным, легким и экономически доступным, однако не дает точных данных о природе появления частиц загрязнения, что не позволяет определить какой именно узел системы подвергся износу. Метод феррографической диагностики в совокупности с оптической и электронной микроскопией позволяет дать более широкую оценку пробы рабочей жидкости, что значительно снижает износ рабочей жидкости и увеличивает срок службы гидропривода.

Список использованной литературы

1. Кузнецова Ю.И., Никонова Т.Ю. Качественные характеристики рабочей жидкости гидросистем сельскохозяйственных машин – Научно-технический журнал «Труды Университета», Карагандинский государственный технический университет, 2017(№2) – С. 40-43

2. Современный инструмент диагностики - Режим доступа
<https://os1.ru/article /44091>

3. Сравнительный анализ современных методов диагностики состояния гидравлических систем - Режим доступа <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-sovremennyh-metodov-diagnostiki-sostoyaniya-gidravlic>

О ПРОЦЕССАХ КОРРОДИРОВАНИЯ ОКОВОК НЕСУЩЕГО ВИНТА ВЕРТОЛЁТА

Мелюхов Никита Игоревич – инженер-технолог
*Публичного акционерного общества «Арсеньевская авиационная компания
«Прогресс» им. Н.И. Сазыкина»*
Площадь Ленина, 5, г. Арсеньев, Приморский край, 692335

Крючков Иван Сергеевич – инженер конструктор
*Публичного акционерного общества «Арсеньевская авиационная компания
«Прогресс» им. Н.И. Сазыкина»*
Площадь Ленина, 5, г. Арсеньев, Приморский край, 692335

Научные руководители:

Юрий Петрович Денисенко – управляющий директор *Публичного акционерного общества «Арсеньевская авиационная компания «Прогресс» им. Н.И. Сазыкина»;*

Олег Шамильевич Бердиев – советник управляющего директора по НИР
*Публичного акционерного общества «Арсеньевская авиационная компания
«Прогресс» им. Н.И. Сазыкина», e-mail: berdiev553@mail.ru.*

Аннотация: Представлен вариант решения выявленной проблемы по предотвращению корродирования оковок несущего винта вертолётa. Описаны направления исследований по проведению испытаний на оковках, концевом обтекателе и винтах крепления лопасти с проведением потребных испытаний.

Ключевые слова: корродирование, оковка, несущий винт, концевой обтекатель, винты крепления.

Abstract: The variant of solution to the problem of preventing corrosion of the rotor main rotor axes is presented. The directions of research on the testing of the forging, end fairing and screws for fixing the blade with testing are described.

Введение

За прошедшее полугодие, по информации эксплуатанта, на лопастях выпускаемого предприятием изделия, которые подвергались воздействию атмосферных явлений в морском климате: осадков в виде дымки, тумана, мороси, дождей (в том числе ливневых), гроз, снега, ветра и солевых отложений, появились следы ржавчины.

Представителем партнёра в эксплуатирующей организации была выполнена проверка технического состояния лопастей и подтверждено наличие

следы ржавчины на оковках (материал - нерж. сталь 12X18Н10Т), концевом обтекателе (материал - нерж. сталь 12X18Н10Т), винтах (материал - нерж. сталь 07X16Н6-Ш) крепления обтекателя лопасти и оформлен соответствующий акт.

Состояние вопроса и цель исследования

В результате ознакомления с актом оценки технического состояния лопастей, было выявлено, что на поверхности металлических элементов находятся рассеянные точечные отметки тёмного цвета (см. Рис. 1), которые эксплуатанту возможно удалить самостоятельно.

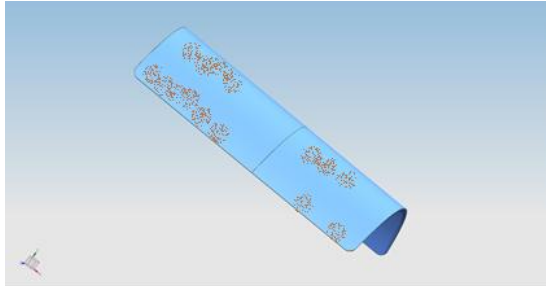


Рис. 1 Оковка лопасти с выявленными пятнами

Целью исследования является выявление причин появления указанных точечных образований и метода предотвращения их последующего появления.

Варианты достижения цели

Авторами исследования выдвинуто предположение, что:

а) выявленные проявления представляют собой следующий тип коррозии - местная (локальная) – которая проявляется на сплавах из хромистоникелевой стали, эксплуатировавшихся в морской среде при определённых условиях;

б) выявленные проявления являются следствием воздействия «третьего фактора» не связанного с конструкцией лопасти.

По предварительно проведенным теоретическим исследованиям – планируется проведение испытания в камере соляного тумана (SST-20MS) на фрагменте лопасти с оковками из нерж. стали 12X18Н10Т, с концевым обтекателем из нерж. стали 12X18Н10Т, с винтами крепления обтекателя лопасти из нерж. стали 07X16Н6-Ш.

Выводы

Накопленный на предприятии опыт в аналогичной области исследований позволяет считать верным избранный вариант направления работы по выявлению причин сложившейся ситуации и выдаче рекомендаций по их устранению при эксплуатации изделия [1-4].

Список литературы

1. Коррозия и окисление металлов. – Ю.Р. Эванс, М.:Машгиз, 1962. – С. 855.
2. Лабораторные испытания коррозионной стойкости лёгких сплавов методом солёного тумана в условиях приморского субтропического климата/В.И. Сергиенко, Ю.П. Денисенко, В.Г. Добржанский, Ю.Ф. Огнев, О.Ш. Бердиев, Н.Е. Душина//Молодёжь XXI века: III и IV научно-практич. конф., г. Арсеньев, 17 апреля 2015г.: сборник трудов/под общ.ред. Ю.П. Денисенко, О.Ш. Бердиева, Ю.Ф. Огнева. Владивосток: изд-во Дальневост. ун-та, 2015. – с. 289-297. ISBN 978-5-906739-83-4 УДК 94.3 ББК 082 М75
3. Сергиенко В.И., Денисенко Ю.П., Добржанский В.Г., Огнев Ю.Ф., Бердиев О.Ш., Душина Н.Е. Лабораторные испытания коррозионной стойкости лёгких сплавов методом соленого тумана путём моделирования субтропического климата // Вестник Инженерной школы Дальневост. Федерал.ун-та. 2015. № 3 (24). с.85-91
4. Investigations of metals' corrosion resistance in the sea climate conditions /Sergienko V.I., Denisenko Y. P., Dobrzhansky V. G., Ognev Y. F., Berdiev O. Sh., Dushina N. E. //Современные технологии и развитие политехнического образования [Электронный ресурс]: С56 Международная научная конференция, г. Владивосток, 14-18 сентября 2015 г. /Дальневост. федерал.ун-т; отв. ред.: А.Т. Беккер, В.И. Петухов; [ред. кол. А.В. Андреев, А.В. Белов и др.]. – Электрон. Дан. – Владивосток: Дальневост. федерал.ун-т, 2015. – Режим доступа: <http://www.dvfu.ru/web/dpd/katalog>. – Загл. с экр. ISBN 978-5-7444-3608-7.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО МЕЛКОДИСПЕРСНОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ ФТОРИДНЫМ ГИДРОЛИЗНЫМ МЕТОДОМ

Минабутдинов Д.К.¹, Минабутдинов К.Г.²

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ») 420015, Казань, ул.К.Маркса, 68, студент.

²Общество с ограниченной ответственностью «Промкремний-М», 420037, г. Казань, ул. Волочаевская, дом 8, пом. 50.

Аннотация: Рассмотрена возможность получения промышленных партий синтетического мелкодисперсного диоксида кремния (СМДК) из кварцсодержащего сырья путем обработки фторирующим реагентом и изготовления специализированного оборудования для производства СМДК по данной технологии.

Abstract: The possibility of obtaining commercial batches of synthetic fine silica (SMDK) from quartz-containing raw materials by treatment with a fluorinating reagent and manufacture of specialised equipment for the production of SMDK for this technology.

Ключевые слова: синтетический мелкодисперсный диоксид кремния, кварцевый песок, фторидная технология, белая сажа, аэросил,

Синтетический мелкодисперсный диоксид кремния (СМДК) является белым аморфным (некристаллическим) сверхлегким пылящим порошком из сферических рыхлых и пористых размером от 1 до 140 микрон, удельным весом от 40 до 200 кг/м³ и удельной поверхностью от 100 до 400 м²/г продукта. Каждая сферическая частица (глобула) представляет собой агрегацию из множества мелких первичных частиц размером от 1 до 40-50 нанометров, представляющих собой свернутые в клубок (с целью уменьшения поверхностной энергии) цепочки, содержащих несколько тысяч молекул SiO₂.

Диоксид кремния имеет химическую формулу SiO₂ или nSiO₂*mH₂O, то есть, в зависимости от способа производства и обработки является чистым безводным оксидом кремния или содержит определенное количество связанной различными способами воды: химической с ковалентными связями, физической с адсорбционными связями за счет сил поверхностного натяжения и капиллярных сил, свободной межкристаллитной воды.

СМДК имеет следующие основные свойства: химически инертен ко всем веществам кроме плавиковой кислоты и фторидов, диэлектрик, самый лучший из известных веществ тепло- и шумоизолятор, в водных растворах образует коллоидные объемноупорядоченные структуры, мощнейший сорбент, на поверхности частиц имеет активные водородные связи и является активным наполнителем; обладает абразивными свойствами и высоким сопротивлением истиранию; бывает гидрофильным или гидрофобным в зависимости от модификации. Эти и другие свойства обуславливают широкое применение СМДК при производстве автомобильных шин, РТИ, силиконов, огнезащитных, тепло- и атмосферостойких покрытий, в химической промышленности, а также в строительной, пищевой, фармацевтической промышленности и многих других отраслях. В чистом виде или в составе других препаратов СМДК применяется для связывания и выведения из организма человека и животных различных токсинов, солей тяжелых металлов, радионуклеидов (медицинский препарат «ПОЛИСОРБ» и др.).

На сегодняшний день существует два способа производства СМДК, применяемых в промышленных масштабах: пиролизный (пирогенный) метод для СМДК марки «аэросил» и метод осаждения для СМДК марки «белая сажа». Производство и потребление СМДК имеют устойчивый рост во всем Мире.

В данной работе была исследована возможность получения СМДК в промышленных объемах новым, ранее не применявшимся, фторидным способом непосредственно из природного кварцевого песка. Возможность

данного способа была описана в открытых источниках, но реализации и внедрения производства по этой технологии по нашим данным нет.

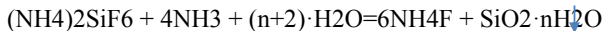
Привлекательной особенностью фторидного способа является возврат фторсодержащего реагента и аммиака из конца технологического цикла в начало для повторной реакции. Основным расходным материалом является кварцевый песок. Производство является замкнутым, умеренно экологичным, безотходным, но энергозатратным. Основным недостатком метода и фактором, препятствующим внедрению метода в производство, является высокая коррозионная способность фторидов, что приводит к загрязнению конечного продукта продуктами коррозии материалов оборудования, преждевременно выходящего из строя.

Рассматриваемый способ заключается в обработке кремнийсодержащего сырья, в данном случае брался кварцевый песок, производными плавиковой кислоты фторидом или бифторид аммония.

Взаимодействие реагентов идет при нагреве до 200°C по реакции:



При этом образуется гексофторсиликат $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ в виде сухого крупнозернистого порошка, вода и аммиак в виде паров, которые улетучиваются и улавливаются с охлаждением и превращением в аммиачную воду. Гексофторсиликат обладает свойством сублимироваться при температуре 350–400°C. Это используется для очистки будущего продукта от примесей, содержащихся в сырье, воде, и продуктов коррозии оборудования. Дополнительно нагревая полученную смесь до 400°C, получаем газообразный летучий, очищенный от примесей гексофторсиликат, который десублимируется в виде белого порошка при охлаждении. Очищенный гексофторсиликат растворяется в воде и подвергается реакции гидролиза смешением с аммиачной водой:



Образовавшаяся суспензия в виде коллоидного раствора отфильтровывается, промывается дистиллированной водой для удаления остатков маточного раствора и аммиака. Полученный осадок и является ценным продуктом, который сушится до содержания влаги 5–6 % (белая сажа) и дополнительно прокаливается до полного удаления воды при температуре 450–500°C (азросил). Полученный раствор фторида аммония выпаривается, в результате чего выпадает в осадок из смеси солей фторида и бифторида аммония, используемых в начале технологического цикла.

В открытых источниках описанный процесс проводится в лабораторных условиях в малых объемах. В данной работе были проведены эксперименты и создан макет реактора, сублиматора и другого оборудования всей аппаратно-технологической линии производительностью 50 кг/ч; выявлены факторы, определяющие размеры частиц и основные характеристики и потребительские свойства СМДК, установлена возможность изготовления основных единиц оборудования и производственной линии в целом «под ключ».

Полученные результаты могут быть использованы при разработке и создании коммерчески выгодной технологии производства синтетического мелкодисперсного диоксида кремния.

Литература

1. Ralph K. Leer, The chemistry of silica, 1982г.
2. Ю.А. Буслаев, Неорганическая химия. Фториды аммония, 1988г.
3. Демьянова Лариса Петровна, автореферат «Фторидный способ переработки кварцосодержащего сырья Приамурья с получением высококремистых продуктов, 2009г.

ЗАВИСИМОСТЬ КОНТАКТНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В ПЛОСКИХ СТЫКАХ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ ОТ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ КОНТАКТИРУЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Мубаракшин Ирек Инсафович

аспирант кафедры конструкторско-технологического обеспечения машиностроительных производств Набережночелнинского института (филиала) Казанского Федерального университета
Республика Татарстан, индекс 423822, г. Набережные Челны ул. Проспект Мира, 13

Аннотация. В статье рассматривается влияние контактных деформаций на точность металлорежущих станков, зависимость контактной жесткости от микронеровностей контактирующих поверхностей, способы моделирования контакта в плоских стыках.

Ключевые слова: металлорежущие станки, контактные деформации, контактная жесткость, тепловые и упругие деформации.

Abstract. In the article the influence of contact deformations on the accuracy of machine tools, the dependence of contact stiffness on the roughness of contacting surfaces, and the methods of modeling contact in flat joints are considered.

Keywords: machine tools, contact deformations, contact stiffness, thermal and elastic deformation.

С повышением требований к точности, производительности и быстроходности машин возрастает роль критерия жесткости, который в значительной степени определяет точность машин, их виброустойчивость, условия контакта, а следовательно, и долговечность деталей. Для прецизионных машин решающее значение имеет контактная жесткость, определяемая деформациями в местах сопряжения деталей.

Знание контактной жесткости дает возможность решать ряд таких важных технических задач, как распределение и концентрация давления по поверхности контакта, оптимизация конструкций из условия отсутствия резкой концентрации давления и местных раскрытий стыков, установление механизма

работы фрикционных соединений и др. К числу динамических задач, требующих знания контактной жесткости, относятся: определение демпфирования и собственных частот колебаний, определение динамической устойчивости, ослабление затянутых соединений, накопление остаточных перемещений деталей под действием повторных ударных нагрузок [1].

В связи с огромным влиянием на качество машиностроительных изделий актуальной задачей является учёт на стадии проектирования контактных деформаций в соединениях машин и приборов, в частности для:

- Металлообрабатывающего оборудования с высокими требованиями к точности формы и размеров изделий;
- Измерительных машины и приборы вследствие воздействия измерительных усилий, сил трения и веса узлов;
- Прокатных станов для прокатки тонких лент и листов, пресса для точной холодной штамповки;
- Многоцветных печатных машин, (в том числе устройств 3D печати) при необходимости точного совмещения отпечатков и т. д.

Контактные деформации во многом зависят от контактной жесткостью сопрягаемых поверхностей. Под контактной жесткостью понимают способность поверхностных слоёв контактирующих тел сопротивляться действию сил, стремящихся их деформировать.

Микронеровности поверхности имеют огромное влияние на упругие перемещения в стыках. Вследствие шероховатости и волнистости фактическая площадь контакта в стыках отличается от номинальной. Под действием приложенных сил при первичном нагружении происходит пластическое деформирование слоя микронеровностей и распрямление микроволн, что приводит к сближению контактируемых поверхностей (рис.1). При повторном нагружении из-за поверхностного упрочнения шероховатого слоя деформации носят упругий характер, в этом случае перемещения имеют меньшее значения за счёт увеличения площади фактического касания и перераспределения давлений (рис.2).

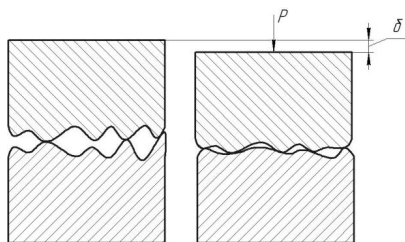


Рис. 1. Схема деформации микронеровностей под действием приложенных сил

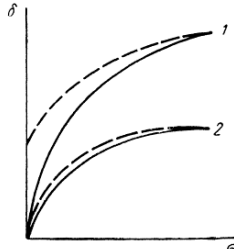


Рис. 2. Зависимость между сближением δ в плоском стыке и давлением p .
1 — первичное нагружение; 2 — повторные нагружения; сплошные линии —
нагрузочные кривые; пунктирные линии — разгрузочные

Следовательно, чем выше качество обработки контактируемых поверхностей и меньше отклонений от плоскостности, тем выше степень контактной жесткости стыков. Шлифованные и притёртые поверхности будут менее подвержены контактной деформации, чем поверхности с грубой обработкой (рис.3).

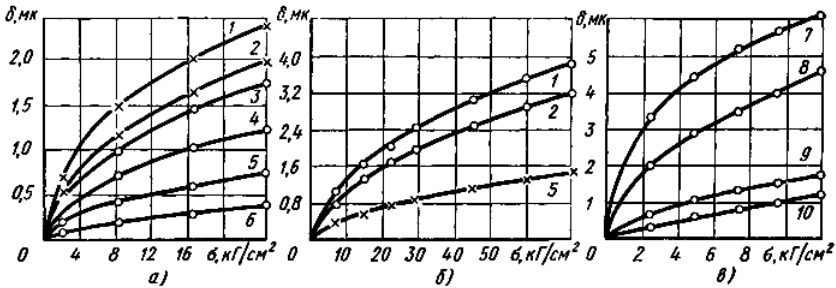


Рис. 3. Упругие перемещения в плоском стыке при повторных центральных нагружениях

а — закаленная сталь 20X—закаленная сталь 45; б — закаленная сталь 20X—чугун СЧ 18-36; в — чугун СЧ 21-40—чугун СЧ 21-40; 1,2 — поверхности шлифованы, $Ra_{1,25}$; 3,4 — то же, $Ra_{0,63}$; 5 — то же, $Ra_{0,16}$; 6 — поверхности притёрты, $Ra_{0,08}$; 7 — поверхности шаблены, $z = 12-15$, $v = 15-20$ мк; 8 — $z = 12-15$, $v = 7-8$ мк; 9 — $z = 20-25$, $v = 7-8$ мк; 10 — $z = 20-25$, $v = 3-4$ мк; 1 и 3 — следы обработки перпендикулярны; 2 и 4 — следы обработки параллельны; z — число пятен контакта на площади 25×25 мм²; v — глубина шабровочных впадин.

Моделированию микронеровностей стыков посвящено множество исследований, основная задача которых сводится к определению фактической площади контакта. Авторы в своих работах идеализируют шероховатый слой, представляя его в виде набора геометрических фигур, таких как цилиндры, призматические столбы, эллипсоиды, сферы и полусферы (рис.4). Далее используя эмпирические зависимости, определяются сближения в стыках.

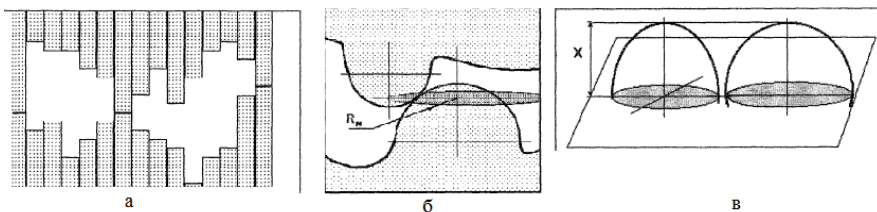


Рис. 4. Схемы микронеровностей контактируемых поверхностей
а – столбчатая, б– эллипсоидная, в– сферическая

На сегодняшний день вопрос моделирования контактных деформаций в зависимости от приложенных нагрузок, качества обработки и материала контактируемых поверхностей хорошо изучен. Но остается открытым вопрос изменения контактной жесткости под действием тепловых деформаций. В данном случае предлагается моделирование микронеровностей путём ввода в стыках пружин с переменной жесткостью, которая представляет собой функцию от температуры, вида микронеровностей, приложенной нагрузки, материала контактируемых поверхностей (Рис.5):

$$k=f(T,P, Ra, m),$$

где

k - жесткость пружины, Н/мм;

T - температура, $С^0$;

P -сила, приложенная на поверхность, Н;

Ra - шероховатость поверхности, в мкм ;

m - материала контактируемых поверхностей

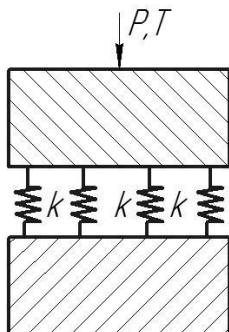


Рис. 5. Схема контакта в стыках с помощью пружин переменной жесткости.

Вывод: из выше изложенного следует, что контактные деформации в стыках металлорежущих станков напрямую зависят от качества обработки контактирующих поверхностей, чем выше точность обработки, тем лучше характеристики контактной жесткости, а следовательно, и эксплуатационные свойства механизмов.

Требуется изучение зависимости контактной жесткости от температурных деформаций.

Список литературы

1. Левина З.М. Решетов Д. Н. Контактная жесткость машин. М., «Машиностроение», 1971. – 264 стр.
2. Островский В.И. Влияние способов обработки на контактную жесткость направляющих «Станки и инструмент», 1965, № 1.
3. Рыжов Э.В. Контактная жесткость деталей машин. «Машиностроение», 1966.

УДК 621.315.6

ЭКОНОМИЧЕСКИ ВЫГОДНЫЙ ВАРИАНТ КОНСТРУКЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ С РАЗНЫМИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Нагимова Энже Вакилевна, Гусячкин Анатолий Михайлович

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
Казань, Anzhe.94@mail.ru

Аннотация. Специалисты предлагают использовать в тепловых сетях трубопроводы с пенополиуретановой и пенополиминеральной изоляцией, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки. В статье предлагается выбирать вариант конструкции теплопровода по стоимостному критерию – удельным приведенным годовым затратам, учитывающий стоимость теплоизоляционного материала, срок его службы, тепловые потери. Приведены результаты расчетов.

Annotation. Specialists offer using pipelines with foamex and polymineral foam isolation in thermal networks. Each one has its advantages and disadvantages. The article proposes to choose heat conductor construction according to cost criterion – given the specific annual costs, which takes into account the cast of heat – insulation material, its service period, heat loss. The results of the calculations are shown.

Ключевые слова: тепловые сети, трубопровод, теплоизоляция, приведенные затраты.

Основным способом прокладки тепловых сетей в РФ на сегодняшний день является подземная канальная прокладка. В качестве теплоизоляционных материалов в каналах до недавнего времени, как правило (порядка 90%), использовались изделия из минеральной ваты (маты и плиты). Увлажнение их при длительной эксплуатации приводит к увеличению коэффициента теплопроводности и теплотерь. Фактический срок службы таких

трубопроводов для магистральных сетей составляет 12-15 лет, распределительных и квартальных сетей – 7-8 лет, т.е. значительно ниже нормативного, равного 25 годам [1].

По мнению многих специалистов, выходом из этой ситуации является использование при строительстве и ремонте тепловых сетей предизолированных трубопроводов с пенополиуретановой (ППУ) и пенополимерминеральной (ППМ) изоляцией. Каждый из этих материалов имеет свои преимущества и недостатки и, однозначно, давать предпочтение той или иной конструкции сложно.

Выбор варианта конструкции теплопровода и оптимальной толщины тепловой изоляции нами предлагается осуществлять по удельным годовым приведенным затратам (на 1 погонный метр трубопровода), позволяющим объективно сравнивать разные варианты при помощи единого стоимостного критерия, учитывающего стоимость материалов, срок их службы, затраты на строительство тепловых сетей, потери теплоты.

Удельные приведенные затраты (руб/год*м) нами определялись по формуле [2]:

$$\Pi = (p_{и} + E_{н}) * K_{и} + C_{т.п.} \rightarrow \min \quad (1)$$

где $p_{и}$ – годовые отчисления от стоимости изоляции в долях от единицы, 1/год;

$E_{н}$ – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, 1/год;

$K_{и}$ – стоимость одного погонного метра трубопровода с тепловой изоляцией, руб/м;

$C_{т.п.}$ – стоимость годовых тепловых потерь одним погонным метром теплопровода, руб/год.

Годовые потери теплоты (Гкал/год) через один погонный метр теплопровода определялись по формуле [2]:

$$q_{т.п.} = \frac{(\tau_{ср} - t_{о}) * n * 10^{-6}}{R} \quad (2)$$

где R - линейное сопротивление теплопередаче тепловой изоляции трубопровода в окружающую среду, Вт/(м² · °С); $\tau_{ср}$ и $t_{о}$ - средние температуры теплоносителя и окружающей среды за время эксплуатации тепловых сетей в году, °С; n - время работы тепловой сети, ч/год.

Стоимость удельных (на 1 погонный метр трубопровода) тепловых потерь за время эксплуатации тепловых сетей в году (руб/год*м) определялись по формуле [2]:

$$C_{т.п} = q_{т.п} \cdot C_{ед.т.э} \quad (3)$$

где $C_{ед.т.э}$ – стоимость единицы тепловой энергии, руб/Гкал (при расчетах принято $C_{ед.т.э}=1534$ руб/Гкал по данным КТС за 2017 г.).

При выборе оптимальной конструкции теплопровода одинаковые затраты денежных средств (например на строительство каналов, монтаж трубопроводов и др.) для сравниваемых вариантов конструкции теплопровода в расчетах не принимались во внимание.

Нами определены удельные приведенные затраты для выбора варианта конструкции теплопровода с предизолированной пенополиуретановой (ППУ) и пенополимерминеральной (ППМ) изоляцией толщиной 41 мм, 45 мм и 60 мм, 60,5 мм соответственно с трубопроводом $d_{всл}=150$ мм, производимых промышленностью, с учетом заявленного срока их службы.

Результаты выполненных расчетов представлены на рис.1.

С экономической точки зрения из рассмотренных конструкций теплопроводов, выпускаемых промышленностью, наиболее выгодным вариантом для подземного канального способа прокладки трубопроводов в условиях г. Казань являются трубопроводы с ППУ изоляцией толщиной 45 мм и с ППМ изоляцией толщиной 41 мм.

Расчеты показали, что для подземного канального способа прокладки трубопроводов можно брать толщину ППУ изоляции меньше 45 мм.

В целях экономии денежных ресурсов следует рассмотреть вопрос об уменьшении толщины теплоизоляционного материала в конструкциях обратных трубопроводов.

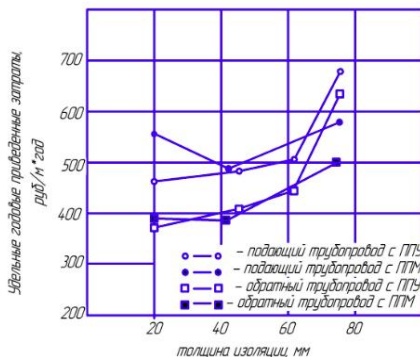


Рис.1 Удельные годовые приведенные затраты вариантов использования для тепловых сетей предизолированных трубопроводов ($d_{всл}=150$ мм).

При окончательном выборе варианта конструкции теплопровода следует учитывать и другие факторы, такие как требования к монтажу тепловых сетей; ремонтпригодность; вероятность увлажнения теплоизоляционного материала и др.

Список литературы:

1. Манюк В.И., Майзель И.Л. Новое поколение тепловых сетей – высокоэффективные системы трубопроводов с пенополиуретановой изоляцией [Электронный ресурс] // Сантехника, 2004. №5. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2655
2. Теплоснабжение: Учебное пособие для студентов вузов/ Козин В.Е., Левина Т.А., Марков А.П., Пронина И.Б., Слемзин В.А. М.: Высш. школа 1980-408с .

3D ПРОТОТИПИРОВАНИЕ КАК ПРОГРЕССИВНЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС В МАШИНОСТРОЕНИИ

Поташникова Наталия Сергеевна
ГБПОУ ВО «Воронежский политехнический техникум»
394055 г. Воронеж, ул. Ворошилова, 18

Аннотация: В данной статье автор описывает необходимость применения 3d прототипирования в образовательном процессе с целью повышения качества обучения студентов в системе среднего профессионального образования

Ключевые слова: 3d прототипирование, аддитивные технологии, 3D-принтер, технология машиностроения, образовательный процесс

Сегодня в области 3d печати наблюдается уверенное развитие на глобальном уровне, технологии 3d прототипирования открывают возможности, с которыми традиционному производству конкурировать достаточно непросто. На данном этапе развития основным направлением использования 3D принтеров является быстрое и точное прототипирование.

3d прототипированием называется послойное создание физического объекта, который соответствует математической модели, представленной в CAD-формате.

Быстрое прототипирование изделий отличается от традиционных методов производства тем, что не предусматривает удаление материала (фрезерование, сверление, точение) или изменение его формы (штамповка, ковка, гибка, раскатывание). В объемном прототипировании изделий материал, из которого состоит модель, послойно наращивается до образования единого целого - готового изделия. Особенность технологии снимает все ограничения на внутреннюю структуру получаемой модели.

Моделирование методом послойного наплавления (англ. Fused deposition modeling (FDM)) представляет собой технологию аддитивного производства, которая широко используется при создании трехмерных моделей при прототипировании и в промышленном производстве.

Трехмерные объекты в технологии FDM создаются путем нанесения последовательных слоев материала, которые повторяют контуры цифровой модели. В качестве материалов для печати, как правило, выступают термопластики, которые поставляются в виде катушек нитей или прутков.

Сегодня 3d принтеры, помимо производства, находят широкое применение и в образовании.

В текущем учебном году в БПОУ ВО «Воронежский политехнический техникум» начала действовать программа подготовки студентов специальности «Технология машиностроения» для работы с 3D-принтерами. Целью данной программы является знакомство студентов с аддитивными технологиями, а также выполнение с их применением различных проектов, что ведет к повышению интереса к выбранной специальности.

В нашем техникуме ведется подготовка по специальностям, которые являются востребованными на рынке труда, а наши студенты неоднократно становились победителями чемпионатов WorldSkills, следовательно, для осуществления качественной подготовки специалистов, преподавателям необходимо внедрять в учебный процесс прогрессивные технологии.

Так как автоматизации сегодня подвергаются всё больше процессов и сфер, то специалист должен постоянно получать новые знания. Так и при работе с 3d принтерами необходимы знания из различных областей: компьютерное моделирование, физика, химия, математика, программирование.

Использование 3d принтеров в образовательном процессе поможет студенту начать творить самому, а не только получать готовые знания. А преподаватели, в свою очередь, также могут использовать 3d принтеры для создания трёхмерных наглядных пособий, благодаря которым материал будет лучше усваиваться.

Применение трехмерной печати в учебном процессе способствует развитию междисциплинарных связей, студент включается в самостоятельную творческую работу, становится возможным проектное обучение.

Литература

1. Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш // пособие для инженеров. – М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015. 220 с.
2. Классификация 3d принтеров (7 технологий 3d печати) <https://geektimes.ru/post/208906/>
3. Моделирование методом послойного наплавления (FDM) http://3dtoday.ru/wiki/FDM_print/
4. Программы для 3d печати и 3d принтера <https://make-3d.ru/articles/programmy-dlya-3d-pechati-i-3d-printera/>
Прототипирование <http://www.ap-proekt.ru/bystroie-prototipirovanie.htm>

НАПРАВЛЕНИЕ СХОДА СТРУЖКИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ФАСОННОЙ ПОВЕРХНОСТИ РАДИУСНОЙ ФРЕЗОЙ

Рябов Е.А., Хисамутдинов Р.М., Юрасов С.Ю.

Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, 423810, Республика Татарстан, г. Набережные Челны, пр. Мира, 68/19

Аннотация. Исследовано направление схода стружки по передней поверхности при обработке фрезами с нецилиндрической исходной инструментальной поверхностью.

Abstract. Investigated the direction of chip flow on the front surface when machining with non-cylindrical the original instrumental surface end mills .

Ключевые слова: радиусная фреза, стружка, передняя поверхность

Проектирование фрез с нецилиндрической исходной инструментальной поверхностью на сегодняшний день происходит на основе удобства их производства. Однако при этом есть несколько вариантов заточки непосредственно фасонной режущей части [1]. Наиболее распространенной на сегодняшний день является использование радиусных концевых фрез (рис. 1). Выбор радиусной фрезы обусловлен формой сферы, которая может совершать обкат любых форм, чей радиус кривизны вогнутости превышает радиус такой сферы.



Рис. 1. Общий вид цельных концевых радиусных фрез.

Получение передней поверхности у таких фрез происходит линейным перемещением торца круга под определённым углом (рис.3.), зависящим от угла подъёма ω и предполагаемого переднего угла в нормальном сечении γ_N . Рекомендуемый угол наклона винтовых режущих кромок ω лежит в широком диапазоне от 20° до 60° в зависимости от обрабатываемого материала и материала инструмента. Голубев в своей работе [2] рекомендует для жаропрочных сталей, которые и составляют большую часть материалов пресс-форм, использовать большие передние углы $\gamma_N = 5^\circ$. Однако данные

рекомендации относятся к цилиндрическим фрезам, у которых при перемещении вдоль оси нормальные сечения практически не изменяются. Изменения вызваны лишь утолщением сердцевины ближе к хвостовику и изменения составляют не более 1,4-1,7 мм на каждые 100 мм режущей кромки. Это, однако, не приводит к изменению геометрических параметров переднего и заднего угла, образованных торцевой поверхностью круга, а влияет в большей степени на вместимость стружечных канавок, образующих конус для лучшего схода стружки. Сход стружки [5] у радиусных фрез при такой заточке, казалось бы тоже довольно легко спрогнозировать, он будет направлен вдоль линии нормали, той же, что при заточке инструмента с отклонением на угол не превышающий 3° за счет схода стружки. Однако, отсутствие учета в данном случае того факта, что угол нормали вдоль радиусной части направлен к центру исходной инструментальной сферы, приводит к смещению стружки в процессе резания. В результате (рис. 2.) получается, что нормальный передний угол меняется от больших значений у перехода в цилиндрическую часть до меньших значений, вплоть до отрицательных при движении к торцу.

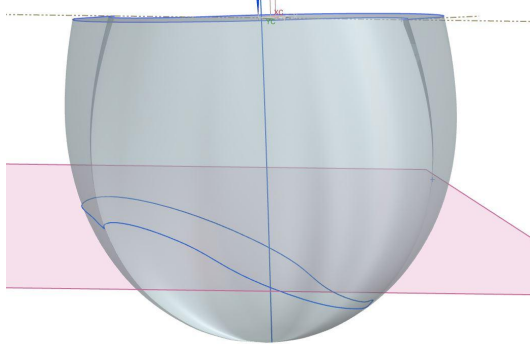


Рис.2 Кривая пересечения фрезы с плоскостью, нормальной к режущей кромке.

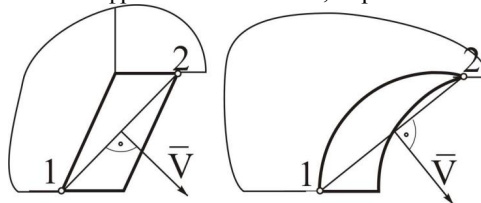


Рис.3. Упрощение определения схода стружки при криволинейных поверхностях

Угол подъёма ω так же становится переменным, так как на сферической поверхности ω принято рассчитывать как лаксо- или ортодромию. В таком случае движение стружки так же имеет переменное значение, что приводит к неравномерности съема материала, а следовательно к потере стойкости:

повышенным вибрациям, более быстрому износу режущей кромки и, как следствие, потере точности конечного образуемого профиля.

Схему определения направления схода стружки была взята из работы Ушакова [5]

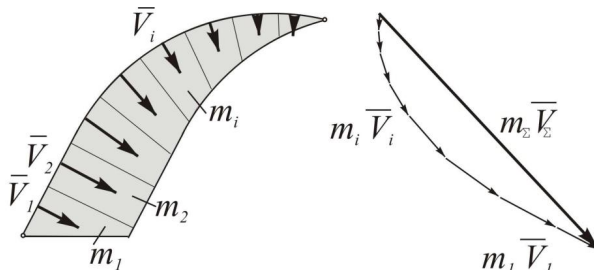


Рис. 4 силы действующие на криволинейную поверхность при резании.

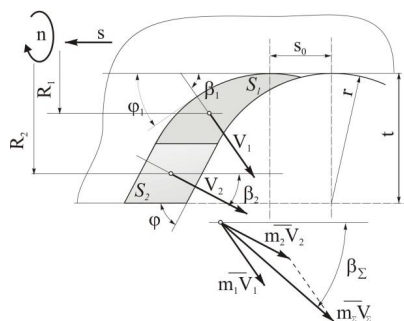


Рис. 5 Схема определения направления схода стружки по Ушакову М.В.

Суммарный угол схода стружки находится по формуле:

$$\operatorname{tg} \beta_{\Sigma} = \frac{R_1 S_1 \sin \beta_1 + R_2 S_2 \sin \beta_2}{R_1 S_1 \cos \beta_1 + R_2 S_2 \cos \beta_2}$$

Таким образом, можно признать современную заточку режущей кромки радиусных фрез технологичной, но с точки зрения эксплуатации данного инструмента не оптимальной. Угол схода стружки напрямую влияет на геометрические параметры в большей мере, чем кинематическая схема резания.

Литература

1. Семенченко И.И. Проектирование металлорежущих инструментов: учебное пособие / И.И. Семенченко, В.М. Матюшин, Г.Н. Сахаров; под редакцией И.И. Семенченко. - Москва: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1963. - 951 с.

2. С.А. Голубев. Влияние угла наклона винтовых зубьев фрез на стойкость, "Станки и инструмент" № 10, 1959
3. ГОСТ 17024-82. Фрезы концевые. Технические условия. Москва: Издательство стандартов, 1982. - 14с.
4. Скороходов С.В. Особенности лезвийной обработки с малыми толщинами среза
5. Ушаков М.В. Определение направления схода стружки по передней поверхности инструмента Текст./ М.В. Ушаков, В.В. Иванов, Е.В. Павлова// Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2014. - №5. - С. 118-123.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА

Соловьева С.И., Павлов П.П., Истоппенников М.А., Корольков А.Ю.

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» 420066,
г. Казань, ул. Красносельская, 51

Аннотация. В докладе рассматривается вопрос выбора показателя надежности контактной сети (КС), для проведения исследования эксплуатационной надежности КС и системы электроснабжения в целом, в новых условиях, при переходе на скоростное движение.

Abstract. The report examines the issue of selecting the reliability indicator of the COP, for carrying out a study of the operational reliability of the compressor station and the power supply system as a whole, under new conditions, when moving to high-speed traffic.

Ключевые слова: надежность контактной сети, система электроснабжения, показатели надежности, высокоскоростной наземный транспорт.

Основной из задач, решаемых при эксплуатации современного и модернизированного высокоскоростного наземного транспорта (ВСНТ), является обеспечение надежного и безопасного перевозочного процесса. Элементы и устройства системы электроснабжения ВСНТ находятся в сложном взаимодействии друг с другом и с электроподвижным составом (ЭПС) [1].

Система тягового электроснабжения (СТЭ) состоит из двух достаточно сложных подсистем - тяговых подстанций (ТП) и контактной сети (КС). Эффективная и надежная эксплуатация СТЭ возможна только, при условии соблюдения правил, технических условий и требований других нормативных документов по эксплуатации, ревизии и ремонту, не допускающих наличия

элементов, износ которых выше допустимого и размеры которых вышли за пределы допустимых норм.

КС является одним из основных элементов СТЭ и содержит большое количество оборудования, аппаратов, деталей, проводов и изделий, от нормального функционирования которых зависит работоспособность, как подсистемы, так и системы в целом. Распределение повреждений по основным элементам СТЭ показывает, что на контактную сеть приходится более 60% всех отказов в системе электроснабжения [2]. Повреждения контактной сети по причине их возникновения можно разделить на три группы:

- непосредственно связанные с контактной сетью, вызванные недостатками проектирования и монтажа, дефектами конструкций, узлов и деталей, низким качеством материалов, условиями погоды, неудовлетворительным содержанием, неправильными действиями обслуживающего персонала и нарушением правил ремонта;
- вызванные неисправностями токоприемников, повреждениями на электроподвижном составе (как правило, короткие замыкания);
- вызванные прочими причинами (сходы с рельсов, развал грузов, стихийные бедствия и т. п.).

Основные причины отказов устройств контактной сети:

- рост старения основных фондов, наличия в эксплуатации недостаточной надежности опор, оборудования, арматуры и других изделий;
- низкое качество содержания устройств контактной сети эксплуатационным персоналом;
- недостаточный уровень квалификации эксплуатационного персонала.

Следовательно, возникает необходимость исследования эксплуатационной надежности КС и системы электроснабжения в целом, в новых условиях, при переходе на скоростное движение [3].

Объективный показатель надежности контактной сети должен быть в первую очередь увязан с главным требованием, предъявляемым к транспорту, - обеспечение бесперебойности движения подвижных единиц, т. е. он должен давать оценку работоспособности системы в целом. В качестве такого показателя можно принять участок контактной сети, например 100 км развернутой длины, а для подстанций - одну подстанцию. Этот показатель как в целом для КС или тяговой подстанции, так и для их основных узлов может служить основой для всесторонней оценки надежности и разработки мероприятий по совершенствованию системы электроснабжения. При этом упрощается обработка статистических данных и становится наиболее наглядной оценка надежности.

В докладе рассматривается вопрос выбора показателя надежности КС, для проведения исследования эксплуатационной надежности КС и системы электроснабжения в целом, в новых условиях, при переходе на скоростное движение.

Литература

1. Литвиненко Р.С., Павлов П.П. Методы моделирования процесса функционирования электротехнического комплекса // Наука и современность. 2015. №4(6). С.84-91.
2. Павлов П.П., Давлетшин А.А. Пути повышения надежности изоляторов контактной сети // Региональная НИК «Молодежь – как импульс в техническом прогрессе». СамГУПС, Самара – Оренбург, 2013 г. С. 24-25.
3. Павлов П.П., Хаертдинова А.Р., Залялов Р.Р. Выбор оптимального варианта многофункциональной технической системы // Международная научно-практическая конференция «Современные тенденции в образовании и науке». Тамбов: Изд-во UCOM.RU, 2014. Часть 9. С.102-103.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ЛИТЬЕМ С ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЕМ РАСПЛАВА

Сухоруков Д.В., Сухорукова Е.В., Шаршин В.Н., Сиразитдинов Р.Ш.

ООО "Научно-производственное объединение "Инновационные Литейные Технологии" 600000, г. Владимир, проспект Строителей, д. 5А.

Аннотация. Рассмотрены исследования составов оловянных сплавов. Определено влияние состава сплава на заполняемость литейных форм и качество отливок.

Abstract. Investigations of the compositions of tin alloys are considered. The influence of the alloy composition on the fillability of casting molds and the quality of castings is determined.

Ключевые слова: оловянные сплавы, художественное литьё, центрифугирование расплава.

В работе представлены результаты исследований влияния состава оловянных сплавов, технологических параметров и режимов литья на заполняемость литейных форм и качество отливок художественного назначения.

Разработаны конструкции литниковых систем для получения отливок различных весовых групп и категорий из легкоплавких сплавов. Проведены исследования влияния конструкции литниковой системы с металлоприёмником конфузторного типа, имеющей коэффициент пропускной способности более 0,9, на заполняемость литейных форм и качество отливок при литье с центрифугированием расплава. Предложена классификация конструкций литниковых систем в зависимости от их положения относительно направления действия центробежной силы инерции расплава: «верхняя», «нижняя» и «боковая». Указанные три варианта конструкций литниковых систем

опробованы при изготовлении художественных отливок из оловянных сплавов методом литья с центрифугированием расплава в формах из кремнийорганической резины горячей вулканизации. Разработаны рекомендации по изготовлению различных типовых групп отливок.

Опытные испытания различных вариантов конструкций литниковых систем в технологии ЛСЦР показали следующее: максимальный выход годного литья, составляющий 96,7%, обеспечивает «нижняя» («сифонная») литниковая система при производстве отливок из модифицированного сплава и скорости вращения формы 750 мин⁻¹. При этом, количество брака, в основном «по недоливу», составило 3,3%. Показано, что с увеличением скорости вращения формы до 750 мин⁻¹ количество годного литья возрастает при использовании любых конструкций литниковых систем, но наиболее значительно при использовании «нижней» литниковой системы.

В исследованиях использовали оловянные сплавы системы Sn –Sb – Cu, относящиеся к категории «пьютерных» сплавов, традиционно применяемых для изготовления мелкого кабинетного литья, с добавками индия (In). Известно, что небольшие добавки индия способствует повышению блеска и эстетической привлекательности изделий. Однако, о его влиянии на технологические и механические свойства сплавов в научной и технической литературе информации не было.

В результате анализа полученных данных определено влияние состава сплава на заполняемость литейных форм и качество отливок. Определены оптимальные технологические параметры и режимы литья: температура заливки расплава в форму, скорость вращения формы, температура внутренней поверхности формы. Проведён комплексный анализ влияния всех технологических параметров и режимов литья на качество отливок, по результатам которого разработана эффективная технология производства художественных изделий мелкой пластики методом литья с центрифугированием расплава.

В частности, установлены оптимальные значения технологических параметров литья с ЦР: перегрев расплава выше температуры ликвидус сплава 70–100 град, скорость вращения формы - 500 - 700 мин⁻¹. Получены зависимости литейных свойств от состава оловянного сплава. Показано, что с увеличением содержания индия в сплавах системы Sn –Sb – Cu – In с 4,5% до 9,0% жидкотекучесть возрастает в 2,5 — 3 раза, при этом максимальные значения индекса качества отливок были получены на сплавах Sn – 10% Sb – 2% Cu – 9% In и Sn – 5% Sb – 2% Cu – 4,5% In.

В рамках работы над проектом авторы разработали и запатентовали оловянный сплав системы Sn – Sb – Cu с добавками индия. Применение указанного сплава, в сравнении с известными аналогами сплавов, применяемых в России и Европе, для художественного литья («немецкое олово», «британский металл» и др.) позволило существенно повысить заполняемость литейных форм при литье с центрифугированием расплава и, как следствие, повысить выход годного литья и качество отливок.

Технология производства изделий мелкой пластики методом литья с центрифугированием расплава может быть реализована при производстве изделий художественного и культурно-бытового назначения, а также различных деталей технического назначения из легкоплавких сплавов: оловянных, свинцовых, цинковых.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

магистрант Тутаев Даурен Ергалиулы,
к.т.н., доцент Муравьев Олег Павлович,
к.т.н. Никонова Татьяна Юрьевна.

Карагандинский Государственный Технический Университет.

В статье рассмотрены явления, сопровождающие обработку металлов и сплавов поверхностно - пластической деформацией. А также физические процессы, несущие исключительный характер.

In the article of the art, the phenomena of metallic and alloy surface plastic deformation. Such physical processes, rather than exceptional nature.

Ключевые слова: производство, машиностроение, инструмент, оснастка, деформирование, надежность, принципы, анализ, деформация, поверхность, анализ.

Пластические деформации могут быть весьма значительными. Простые выражения, используемые для описания малых деформаций, рассматриваемых в линейной теории упругости, не применимы в случае значительных деформаций. Например, деформация образца, длина которого при растяжении изменилась от L_0 до L , равна известному отношению $(L-L_0)/L_0$ только в том случае, если это отношение мало по сравнению с единицей. Выражение, которое справедливо при значительных деформациях, можно получить следующим образом. Приращение деформации $\delta\varepsilon$, возникающее при изменении длины образца

от L до $L + \delta L$, равно $\delta\varepsilon = \delta L/L$. Общая деформация образца, который удлинился от начальной длины L_0 до конечной длины L , будет

$$\varepsilon = \int_0^\varepsilon d\varepsilon = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L} = \ln \frac{L}{L_0}. \quad (1)$$

Это выражение приводится к более известному выражению, когда L почти равно L_0 . Выражение (1) справедливо как для одноосного растяжения, так и для одноосного сжатия, что очень важно для рассматриваемого случая упрочнения выглаживанием.

На рисунке 1 схематически показана кривая напряжение – деформация, типичная для поликристаллических металлов с ГЦК-решеткой или ГПУ-решеткой при растяжении до значительных деформаций. С увеличением деформации наклон кривой уменьшается. Таким образом, для поликристаллических металлов степень деформационного упрочнения, которая определяется наклоном кривой деформации, уменьшается с увеличением деформации.

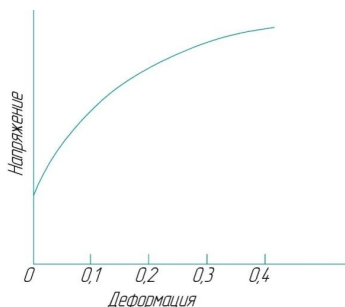


Рисунок 1 – Схематическое изображение кривой напряжение — деформация для поликристаллических металлов с ГЦК- или ГПУ-решеткой

Применительно к деформации сталей, имеющих ОЦК кристаллическую решетку, приведены примеры кривых упрочнения при сжатии стали 40 после отжига (рисунок 2), нормализации и улучшения и обожженной инструментальной стали У7.

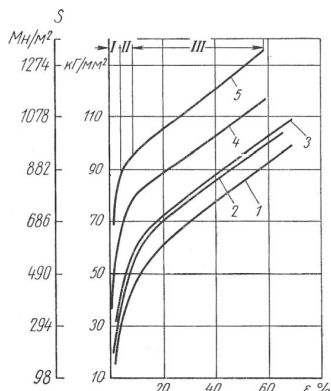


Рисунок 2 – Кривые упрочнения при сжатии термически обработанных сталей:

- 1 — сталь 40 после отжига; 2 — сталь У7 после отжига;
- 3 — сталь 40 после нормализации; 4 — сталь 40 после улучшения ($t = 600^{\circ}\text{C}$);
- 5 — сталь 40 после улучшения ($t = 500^{\circ}\text{C}$)

Кривая напряжение — деформация металла обычно обрывается при некоторой конечной деформации вследствие разрушения образца. Причина разрушения может быть различной для разных образцов и металлов и, кроме того, зависит от вида нагружения. В результате деформационного упрочнения напряжения, необходимые для дальнейшей деформации, могут возрасти до столь высоких значений, что в металле возникают трещины, которые распространяются через образец. При испытаниях на растяжение пластичных металлов разрушение происходит в результате образования в каком-либо месте образца шейки с малой площадью поперечного сечения. Если площадь поперечного сечения в каком-нибудь месте образца станет меньше средней, то напряжения в этом месте должны быть больше, чем средние напряжения. Такое увеличение напряжений может привести к увеличению деформации в месте с меньшим поперечным сечением и, таким образом, вызвать еще большее сужение поперечного сечения. Этот процесс может развиваться катастрофически и привести к разрушению.

Кривая деформации для поликристаллического материала представляет в некотором роде усредненную кривую зависимостей напряжение — деформация для отдельных зерен. Однако при деформации поликристалла отдельные зерна деформируются неодинаково. Следовательно, кривая деформации для образца в целом в действительности не характеризует средние свойства кристаллов, из которых состоит образец.

Кривые напряжение — деформация для поликристаллических образцов, показывающие поведение металла при пластической деформации, несомненно, имеют важное практическое значение и прежде всего для процессов упрочняющей обработки.

Анализ известных работ и практика применения ППД свидетельствуют о том, что деформационное действие инструмента на обрабатываемую поверхность детали, по существу, представляет собой процесс сжатия в различных условиях контактирования (по форме и площади пятна контакта), действующей нагрузки и времени деформирования.

При упрочнении ППД, как и в процессах классического растяжения и сжатия образцов, решающее влияние оказывают нагрузка, время ее действия и температура нагрева. Тепловым фактором в процессах ППД обычно пренебрегают из-за небольших температур — до 200—300° С.

Кривые сжатия (можно управлять поверхностной деформацией изменением действующей нагрузки), как правило, аналогичны представленной (рисунок 2) кривой напряжение-деформация при растяжении поликристаллических металлов.

Величина деформации ϵ в процессах упрочняющей обработки неопределенна, а оценка ведется обычно по ее аналогу - глубине внедрения деформирующего инструмента в обрабатываемую поверхность детали. Характер изменения глубины внедрения инструмента обычно соответствует ходу кривой σ - ϵ .

Наиболее эффективны известные методы ППД для отделочно-упрочняющей обработки пластичных металлов и сплавов, у которых сохраняется

большой резерв по пластичности и при упрочнении которых можно управлять поверхностной деформацией изменением действующей нагрузки.

Особое место в технологии упрочняющей обработки занимают закаленные стали и высокопрочные чугуны, свойства и область применения которых при изготовлении автомобилей приведены ниже (таблица 1).

Приведена информация о пластичности сталей в отожженном состоянии, а их твердость — после закалки (таблица 1). Пластические свойства закаленных сталей в справочной литературе отсутствуют.

Таблица 1 – Свойства сталей и высокопрочного чугуна

| Обрабатываемая деталь | Материал | Твердость | Предел текучести, МПа | Предел прочности, МПа | Относительное удлинение, % |
|--|-------------------|------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|
| Коленчатый вал | Чугун ВЧ 75-50-03 | 50 HRC | 500 | 750 | 3 |
| Вал первичный коробки передач | Сталь 20ХГНМ | ≥58 HRC | 950 | 1200-1600 | 7 |
| Полуось заднего моста | Сталь 38 | 48 HRC | 310 | 560-750 | 17 |
| Корпус внутреннего цилиндра | Сталь 19ХГН | 58-62 HRC | 950 | 1100-1550 | 7 |
| Фланец крепления карданного вала к ведущему валу редукторной коробки | Сталь 43 | 165-215 НВ | 500 | 700 | 15 |

Таким образом, об уровне пластичности закаленных сталей, их возможной деформации до разрушения и величинах деформационного напряжения в реальных условиях упрочняющей обработки можно только предполагать. Режимы упрочняющей обработки закаленных сталей, а также высокопрочных чугунов можно определять только эмпирически, подбирая их таким образом, чтобы гарантированно исключить перенаклеп и возможное растрескивание обработанной поверхности детали.

Список использованной литературы

Бобровский Н.М., Бобровский И.Н. Инновационные технологии механической обработки деталей машин поверхностно - пластическим деформированием. Учебное пособие/Тольятти: Издательство ТГУ, 2013. – 81 с.

РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗАПУСКА ДВС БЕСПИЛОТНОГО АВТОМОБИЛЯ

Умутбаев Рушан Рубенович, Салимов Радий Ильдусович

кафедра электрооборудования, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»
(КНИТУ-КАИ),
420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

Аннотация: Представлена функциональная схема системы дистанционного запуска с функцией автозапуска (СДАЗ). Приведено описание функциональной схемы СДАЗ.

Abstract: The functional diagram of the remote start system with the function of autorun (SDAS) is presented. The description of the FDMIM scheme is given.

Ключевые слова: двигатель, ДВС, запуск, дистанционный, прогрев, GLONASS.

Система дистанционного запуска двигателя беспилотного грузового автомобиля предназначена для программного запуска двигателя беспилотного грузового автомобиля по команде оператора центра управления беспилотными автомобилями (*ЦУБПА*). Вторая функция заданной системы автозапуска - предназначена для автоматического запуска и прогрева двигателя. Устройство рассчитано на работу с двигателями с автоматической трансмиссией. Разрабатываемая система является сложной задачей, но наиболее труднее осуществить эффективность управления пуска автомобиля без содействия водителя.

В системе дистанционного запуска применяется опциональный GSM-GPRS и GPS-GLONASS телематический модуль, который позволяет определять координаты автомобиля, управлять дистанционно из любой точки Земли.

Интеллектуальный автозапуск позволяет осуществлять дистанционный и автоматический запуск двигателя по заданной температуре двигателя. Так же может применяться безопасное и эффективное управление роем роботизированных автомобилей в режиме жёсткого реального времени. Такая функция найдет применение в автомобилях работающих в больших карьерах по добыче ресурсов.

Функциональная схема системы дистанционного запуска (рис.1.) построена на основании алгоритма работы системы [1].

В системе заложены константы (исходные данные), определяющие конкретные характеристики требований надежного пуска ДВС: минимальная пусковая частота вращения коленчатого вала двигателя $n_{\text{мин}}$; максимальное количество попыток запуска $N_{\text{макс}}$; пороговое напряжение аккумуляторной

батареи $U_{AB \text{ пор}}$; время пуска двигателя электростартером $t_{\text{пуск}}$; время выдержки паузы между попытками запуска $t_{\text{паузы}}$.

Система работает следующим образом.

С пульта дистанционного управления ПДУ на приёмник Пр приходит команда «Запуск». Сигнал с приёмника поступает на вход элемента DD1 выполняющего логическую операцию «ИЛИ». Также сигнал на DD1 может прийти с входа «Зажигание».

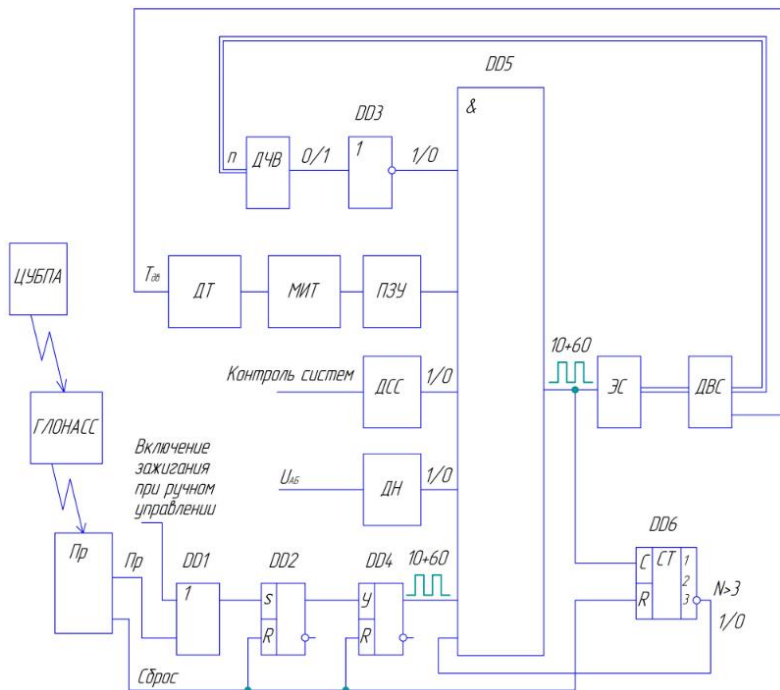


Рис. 1. Функциональная схема системы дистанционного запуска

Когда на один из входов DD1 поступает логическая единица, то на его выходе формируется высокий уровень сигнала. Далее сигнал поступает на RS-триггер DD2. На выходе триггера формируется логическая единица. Сигнал с триггера приходит на управляемый генератор импульсов DD4. Генератор начинает выработать импульсы прямоугольной формы длительностью 10 с и паузами между импульсами 60 с. Сигнал с генератора импульсов поступает на пятый вход анализирующего устройства DD5.

Анализирующее устройство DD5 имеет шесть входов и выполняет логическую операцию «И».

На первый вход анализирующего устройства DD5 поступает, проходящий через инвертор DD3, сигнал с датчика частоты вращения ДЧВ. Логическая

единица на первом входе будет, когда частота вращения коленчатого вала двигателя ниже минимальной, то есть когда двигатель не работает.

Если частота вращения коленчатого вала больше минимальной частоты вращения, то происходит блокировка включения стартера и информирование оператора о результате запуска. Если частота вращения коленчатого вала не превышает минимального значения, то происходит проверка отсутствия сигнала датчика состояния системы ДСС.

На второй вход анализирующего устройства DD5 сигнал приходит с датчика температуры двигателя. Сигнал в виде температуры преобразуется микропроцессором измерения температуры в цифровой сигнал и записывается в постоянно запоминающем устройстве, после чего поступает на второй входе DD5.

Сигнал на третий вход анализирующего устройства DD5 поступает с датчика состояния системы ДСС. Если ДСС не обнаружил проблем, то на третьем входе DD5 будет логическая единица, а иначе на выходе будет логический ноль.

На четвертый вход сигнал приходит с датчика напряжения аккумуляторной батареи и, если уровень заряда аккумуляторной батареи выше порогового значения $U_{AB \text{ пор}}$, то на выходе датчика напряжения будет логическая единица. Если уровень заряда аккумуляторной батареи ниже порогового значения, то происходит блокировка включения стартера и информирование оператора о результате запуска.

Сигнал на шестой вход анализирующего устройства DD5 приходит с выхода «3» счётчика DD6. Счётчик переключается из одного состояния в другое при приходе импульсов с выхода DD5 (при попытке запуска ДВС). Если количество попыток запуска больше трех на выходе «3» формируется высокий уровень сигнала и происходит блокировка включения стартера и информирование оператора о результате запуска.

Логическая единица на выходе анализирующего устройства DD5 формируется только в том случае, если на всех пяти входах будет присутствовать логическая единица. При этом произойдет включение стартера и будет произведена попытка запуска двигателя длительностью 10 с. Если попытка запуска окажется неудачной (частота вращения коленчатого вала не превысила 300 об/мин), то выдерживается пауза длительностью 60 с. К количеству попыток запуска прибавляется единица и алгоритм повторяется с момента проверки сигналов датчика состояния системы.

Если частота вращения коленчатого вала превысила значение 300 об/мин, то система распознает состояние ДВС как «Включено» и происходит отключение стартера. Если с ЦУБПА не поступает сигнал «Отбой», то происходит информирование оператора, а иначе ДВС отключается и после происходит информирование оператора.

Алгоритм работы системы, кроме команды «Запуск», предполагает и введение команды «Отбой». Если с центра управления беспилотными автомобилями ЦУБПА на приёмник поступит команда «Отбой», то сигнал с третьего выхода приёмника *Pr* поступит на входы сброса триггера DD2,

генератора импульсов $DD4$, счётчика $DD6$. При этом триггер перейдёт в состояние с логическим нулём на выходе, генератор импульсов прекратит вырабатывать сигнал, счётчик сбросится в исходное состояние.

При реализации функции автозапуска выполняется проверка температуры $T_{дв}$. Происходит сравнение текущей температуры двигателя $T_{дв}$ с заданной $T_{зад}$. Если температура двигателя меньше заданной, то происходит включение зажигания. Если температура ДВС больше заданной, то алгоритм повторяется с момента проверки функции автозапуска.

Представленная функциональная схема является основой для дальнейшей разработки макета системы. Разработка системы ведется в рамках открытого проекта в студенческой научной лаборатории «Интеллектуальные системы транспортных средств» кафедры электрооборудования КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева.

ЛИТЕРАТУРА

1. Умутбаев Р.Р., Р.И. Салимов. Интеллектуальная система дистанционного запуска двигателя внутреннего сгорания беспилотного грузового автомобиля. // XXIII Туполевские чтения (школа молодых ученых): Международная молодёжная научная конференция, Казань, 8-10 ноября 2017 г.: Материалы конференции. Сборник докладов. Казань: Изд-во КГТУ им. А.Н. Туполева (в печати).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВРЕМЕННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ В КАЧЕСТВЕ ОДНОГО ИЗ КОМПОНЕНТОВ КОМПЛЕКСНОЙ ДИАГНОСТИКИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА.

Урманов Марат Данилович - магистрант 2 года.

Научный руководитель - доц., канд. техн. наук Хусайнов Рустем Мухаметович.

Набережнечелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского)
федерального университета

423812, Республика Татарстан, г. Набережные Челны, д.68/19, кафедра
«Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных
производств»

Аннотация: В статье рассмотрен один из компонентов комплексного диагностирования режущего инструмента - диагностика по времени. Разработан специфический постпроцессор. Предложена методика задания стойкости инструмента с учетом инструментальных калькуляторов производителей режущих инструментов.

Abstract: The article considers one of the components of a comprehensive diagnosis of the cutting tool - the diagnosis time. Specific the Developed

postprocessor. The proposed method set tool life considering tool calculators manufacturers cutting tools.

Ключевые слова: диагностика режущего инструмента, постпроцессор, SinuTrain.

Keywords: diagnosis of the cutting tool, the postprocessor, SinuTrain.

В производстве немало важную роль играет диагностика режущего инструмента, так как на долю отказов инструмента приходится более 40% от всех причин простоя станка. Это свидетельствует о необходимости контроля их состояния с целью быстрого принятия решений.

В настоящее время используют различные методы диагностирования режущих инструментов. Наиболее перспективным направлением является диагностирование косвенными методами, т.к. данный процесс проще реализуем, и имеется возможность проводить непрерывный контроль. Но в связи с тем, что каждый из этих методов подходит для определенных условий обработки резанием, например, контроль по силе резания на чистовых операциях весьма сложно диагностируем, то необходимо использовать комплексный подход. Таким образом, каждый из этих методов будет предотвращать определенный процент износа режущего инструмента, а их общее применение приведет к снижению рисков получения брака.

В данной работе для диагностики инструмента будет использоваться диагностика по времени с макропрограммированием на стойке, в качестве одного из компонентов комплексного подхода. Рекомендуемые режимы резания и стойкость инструмента будут подбираться в системе Toolguide [1].

В данной системе в качестве исходных данных вводятся материал детали, характеристика станка (максимальная скорость резания, крутящий момент и др.) и параметры обработки (черновая, чистовая, подрезать торец, точить наружный диаметр и др.) После чего можно получить отчет об обработке, в которой будет указана временная стойкость инструмента при данных режимах резания в минутах. Также будет использована инструментальная база [2] для интеграции данных Toolguide в систему NX CAM, с последующим выводом управляющей программы.

Перед началом работы в цехе необходимо провести наладку станка, которая также будет включать в себя указание коррекции инструмента и его стойкости, смещение нулевых точек. Для передачи из системы NX CAM текущей информации, возможно, использовать стандартные шаблоны: лист операции и лист инструментов. Однако они предназначены для общего случая и при использовании инструментальной базы, с целью отслеживания части жизненного цикла инструментов, не подойдут, так как отсутствует вывод значений стойкости инструмента. Для этих целей был создан свой шаблон «Наладка инструментов для обработки».

Теперь необходимо настроить постпроцессор для вывода сообщения о неисправности инструмента. Для этого воспользуемся глобальной переменной,

которая используется в Генераторе постпроцессоров NX, `mom_cutting_time` – машинное время без учета холостых ходов в секундах.

В коде постпроцессора выполняется проверка на износ инструмента по следующему неравенству:

$$l \geq \frac{(t_{01} + t_{02} + \dots + t_n)}{T} \quad (1),$$

где T – стойкость инструмента, мин, t – основное время в минутах технологического перехода.

Для тестирования методики диагностирования режущего инструмента с использованием специфического постпроцессора использован эмулятор стойки «SinuTrainforSINUMERIKOperate 4.4 Ed.2.» Это позволит наиболее точно просимулировать работу наладчика по отладки инструментов.

На первом этапе необходимо создать свой инструмент. Создадим торцевую фрезу «345-050Q22-13H» назначим стойкость инструмента 36 мин (рис.1, 2) согласно цеховой документации включим отслеживание по времени (рис.1, 1).

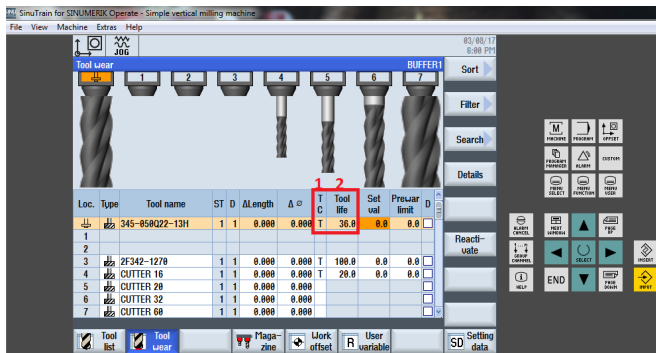


Рисунок 1- Назначение нового инструмента.

Для отслеживания инструмента через управляющую программу будем использовать расширенное программирование с использованием системных переменных на стойке. Для диагностики инструмента уже имеется стандартная функция, которая и будет использоваться:

$\$T_MOR2[t,d]$ –оставшийся срок службы вмин, где t – номер инструмента, d – коррекция инструмента.

Если оставшийся срок службы ≤ 0 , то выдается сообщение о сбое или устанавливается следующий сигнал интерфейса. После этого инструмент переходит в состояние «заблокирован» и не может быть вызван заново, пока действительно это состояние. Оператор должен вмешаться: заменить инструмент или позаботиться о том, чтобы в обработке был годный к использованию инструмент.

Рассчитаем возможное количество обработанных деталей до замены пластин фрезы по формуле (2):

$$N_i = \frac{T}{t_0} ; \quad (2)$$

Управляющая программа на стойке она будет выглядеть следующим образом:

```

.....
N80 ;Operation : FLOOR_WALL //название операции
N81 DEF REAL PV // Объявление переменной PV и присваиваем тип данных
real
N82 PV = $TC_MOP2[16,1] - 0.2 // расчет стойкости инструмента с учетом
отработки текущей УП
N84 IF PV >= 0 GOTOF LABEL1 // Проверка инструмента
N85 MSG("The tool number 16 is corrupted" )
N86 M0
N87 LABEL1: MSG()
N88 T="345-050Q22-13H"
N89 M6
.....

```

При достижении износа инструмента станок будет остановлен, инструмент заблокирован (рис.2, 2) и на дисплее стойки выдет сообщение (рис.2, 1), а оператору необходимо будет осмотреть инструмент и принять решение о его замене. Если будет произведена смена инструмента, то наладчику нужно разблокировать инструмент и занести значение о стойкости инструмента на стойку согласно цеховой документации заново (рис.2, 3).

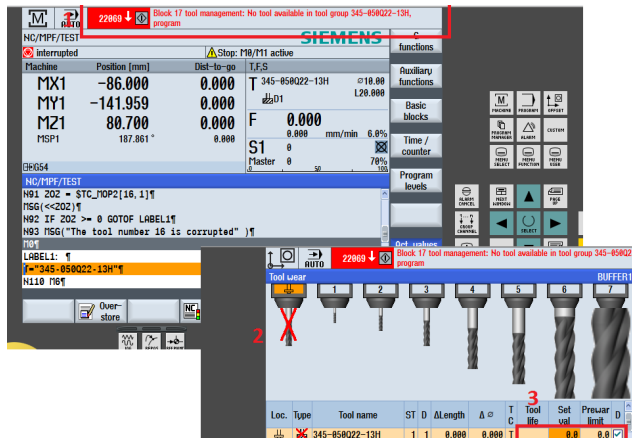


Рисунок 2 - Блокировка инструмента по достижению износа.

В данной работе в качестве одного из метода комплексного решения была выбрана диагностика по времени. Исходя из полученных данных видно, что

данный метод оправдывает себя, т.к. он помогает предотвратить определенный процент износа режущего инструмента, не требует затрат на дополнительное оборудование и весьма прост.

Список литературы.

1. Интернет-ресурс: Рекомендации по инструменту через ToolGuide. - URL: <https://toolguide.sandvik.coromant.com/> (дата обращения 20.12.2016).

2. Гречишников В.А., Урманов М.Д., Хусаинов Р.М., Юрасов С.Ю., Юрасова О.И. Связь базы данных инструментов и САМ-системы при проектировании технологической операции на станке с ЧПУ. // СТИН. 2017. № 5. С. 16-19.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ГОРЕНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА

Файзуллина А.И.

Казанский государственный энергетический университет, 420066 г. Казань ул. Красносельская, 51

Аннотация. В статье приведен расчет горения газообразного топлива, в котором определяется расход воздуха на горение топлива, затем количество и состав продуктов горения – дымовых газов, образующихся в результате горения топлива и температура дымовых газов.

Abstract. The calculation of combustion of gaseous fuels is given in the article, in which the air consumption for fuel combustion is determined, then the quantity and composition of the combustion products - flue gases formed as a result of fuel combustion and the temperature of the flue gases.

Ключевые слова: горение, газообразное топливо, природный газ, продукты сгорания, экологические показатели

Органическое ископаемое топливо является в настоящее время основным источником энергии (теплоты) для промышленного использования, а также для транспортных двигателей. Под топливом понимают вещества, выделяющие в результате тех или иных преобразований тепловую энергию, которая используется в технических целях.

Главным показателем энергетической ценности топлива является теплота его сгорания. Теплотой сгорания топлива называется количество теплоты, выделяющееся при полном сгорании 1 м³ газообразного топлива при нормальных условиях. Ее можно определять экспериментально и теоретически, если известен элементарный состав топлива. Продукты сгорания оказывают определяющее влияние на энергетические и экономические показатели различных теплотехнических установок. Однако

помимо этих продуктов при сгорании образуется и ряд других веществ, которые вследствие их малого количества не учитываются в энергетических расчетах, но определяют экологические показатели топок, печей, тепловых двигателей и других устройств современной теплотехники.

В первую очередь к числу экологически вредных продуктов сгорания следует отнести так называемые токсичные газы, такие как оксиды азота NO , оксид углерода CO , различные углеводороды CH , сажа и соединения, содержащие свинец и серу.

Промышленные виды топлива горят в результате химических реакций окисления их горючей части кислородом воздуха, рассмотрим три основные задачи расчета горения: 1. определение расхода воздуха на горение топлива; 2. определение количество и состав продуктов горения – дымовых газов, образующихся в результате горения топлива; 3. определение температуры дымовых газов.

Расход кислорода рассчитывают исходя из стехиометрических соотношений реакций окисления отдельных компонентов горючей части топлива, их атомных и молекулярных масс. Отношение действительного G_o к теоретическому G_m расхода воздуха называют коэффициентом избытка воздуха и обозначают буквой α :

$$\alpha = G_o/G_m \quad (1)$$

где α зависит от вида топлива и степени совершенства топочного устройства. Наибольшая полнота смешения с воздухом достигается у газового топлива. Поэтому его можно сжечь с минимальным избытком воздуха: $\alpha = 1,05 \dots 1,1$.

Определяют количество и состав дымовых газов, образующихся в результате этого процесса, которые также получают из стехиометрических соотношений реакций взаимодействия горючих составных частей топлива с кислородом воздуха. В составе и количестве дымовых газов, естественно, учитывается избыточный кислород, весь азот и влага, вовлеченная с воздухом.

Последним этапом расчета горения является определение температуры горения топлива и требуемого избытка воздуха. Различают теоретическую и практическую температуры горения топлива. Максимальная калориметрическая температура развивается при сжигании топлива с $\alpha=1$. Эту характеристику Д.И. Менделеев называл жаропроизводительностью топлива.

Обычно, топливо не сгорает до полной степени окисления его горючих составных частей – в дымовых газах наряду с CO_2 и H_2O появляются продукты неполного сгорания CO и H_2 . Вследствие этого появляются потери тепла от химического недожога топлива. Затем часть тепла теряется через ограждающие конструкции топочного устройства [3]. Кроме потерь тепла, часть его передается нагреваемому материалу непосредственно так называемой прямой отдачей, т.е. излучением, минуя нагрев дымовых газов, температура которых и по этой причине не может превосходить температуры горения t_n всегда ниже калориметрической t_k .

$$t_n = t_k \cdot \eta_k \quad (2)$$

где calorиметрический коэффициент η_k .

Calorиметрическую температуру горения топлива с приемлемой для инженерных расчетов точностью определяют из уравнения теплового баланса горения 1кг твердого или жидкого топлива:

$$Q_n^p + V_g^0 \cdot C_g \cdot t_g \cdot \alpha + C_m t_m = V_o^0 \cdot C_o \cdot t_k \cdot \alpha \quad (3)$$

где Q_n^p – низшая теплотворность топлива, кДж/кг; V_g^0 – теоретический расход воздуха на горение 1кг топлива, м³/кг; C_g – теплоемкость воздуха, $C_g=1,3$ кДж/м³ С; t_g – температура воздуха, поступающего на горение топлива, С; t_t – температура топлива, поступающего на горение; C_t – теплоемкость топлива; V_o^0 – теоретическое количество продуктов горения от сжигания 1кг топлива, нм³/кг; C_o – теплоемкость дымовых газов. Для проектных расчетов допустимо пользоваться приближенными формулами:

$$C_o = 0,25 + 0,000014t_o \quad (4)$$

$$C_o = 0,323 + 0,000018t_o \quad (5)$$

где t_o – температура продуктов горения (дымовые газы), С.

Практически подогревают перед сжиганием только мазут. Твердое топливо и природный газ не подогревают и, следовательно, в этих случаях величиной $C_m \cdot t_m$ можно пренебречь. Если уравнением (3) пользуются для определения calorиметрической температуры горения топлива t_k , то поскольку от t_k зависит и C_o , это уравнение решают методом последовательного приближения.

Уравнением (3) можно воспользоваться для двух целей: если по условию задания известна требуемая практическая температура в печи t_n , то предварительно рассчитав по уравнению (2) calorиметрическую температуру t_k , определяют затем по уравнению (3) необходимый избыток воздуха, решая уравнение (3) относительно α . Если же, наоборот, заданной величиной является коэффициент избытка воздуха α , обусловленный видом топлива и типом топочного устройства, то из уравнений (2), (3) определяют возможную температуру пламени t_n . Уравнение (3) указывает также возможные пути повышения calorиметрической температуры t_k . Это снижение избытка воздуха и подогрев воздуха, используемого на горение топлива, а также подогрев жидкого топлива. Уравнение (3) показывает, что повышение практической температуры горения достижимо, прежде всего, за счет снижения тепловых потерь.

Рассмотрим расчет горения природного газа

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ: 1. Объемный состав газа (по справочным данным), (%): CH₄ – 95,5; C₂H₆ – 0,8; C₃H₈ – 0,4; C₄H₁₀ – 0,08; C₅H₁₂ – 0,00; CO₂ – 0,22; N₂ – 3,0. Всего 100 %. 2. Влагосодержание воздуха, согласно климатологическим таблицам *I-d*-диаграмме, составляет $d=10$ г на 1кг сухого воздуха. 3. Природный газ сжигается во вращающейся керамзитообжигательной печи. Требуемая температура обжига $t_{II}=1150$ С.

ОПРЕДЕЛИТЬ: количество, влагосодержание, энтальпию дымовых газов и расход воздуха на горение топлива.

РЕШЕНИЕ: необходимый коэффициент избытка воздуха определяют из уравнения теплового баланса процесса горения 1 м^3 газа по формуле:

$$Q_n^p + V_g^0 \cdot C_g \cdot t_g \cdot \alpha + C_m t_m = V_d^0 \cdot C_d \cdot t_k \cdot \alpha \quad (1.1)$$

где $Q_n^p=36400$ кДж/м³; $V_g^0=9,498$ м³/м³; $C_g=1,3$ кДж/м³С; $t_g=t_T=10$ С; $C_m=1,7$ кДж/м³ С; $V_d^0=10,5$ м³/м³; t_k – калориметрическая температура горения, С;

$$t_k = t_{II}/\eta_k \quad (1.2)$$

где t_{II} – требуемая практическая температура горения, (задана $t_{II}=1150$ С); η_k – калориметрический коэффициент процесса горения. Для вращающихся печей по опытным данным $\eta_k=0,8$.

Для проектных расчетов объемной теплоемкости продуктов горения (кДж/м³С) допустимо пользоваться приближенной формулой:

$$C_d = 0,335 + 0,0000755t_d \quad (3.3)$$

Подсчитываем $t_k = \frac{1150}{0,8} = 1437,5$ °С. Принимаем $t_d=t_k$,

тогда $C_d = 0,335 + 0,0000755 \cdot 1437,5 = 1,464$ кДж/(м³·С)

Из уравнения (1.1): $\alpha = \frac{36400 + 10 \cdot 1,7}{10,7 \cdot 1437,5 \cdot 1,464 - 9,50 \cdot 1,3 \cdot 10} = 1,6$

(1.4)

$$100 \cdot V_g^0 = 100 \cdot V_g^0 \cdot \alpha = 949,83 \cdot 1,6 = 1519,73 \text{ м}^3 \quad (1.5)$$

Определяем влагосодержание дымовых газов на 1 кг сухого воздуха:

$$d_d = G_{H_2O} / L_{cd} \quad (1.6)$$

где G_{H_2O} – масса водяных паров в дымовых газах, отнесенная к 1 м³ топлива, в нашем случае равная 1,754 кг/м³; L_{cd} – масса сухих дымовых газов от сжигания 1 м³ топлива, $L_{cd}=18,43$ кг;

Тогда, $d_d = \frac{1,766 \cdot 1000}{18,43} = 95,8$ г. на 1 кг сухих дымовых газов.

Энтальпию продуктов горения, отнесенную к 1 кг сухих дымовых газов, определяют по формуле:

$$I_d = \frac{Q_n^p + V_g^0 \cdot C_g \cdot t_g \cdot \alpha + C_m t_m}{L_{cd}} \quad (1.7)$$

$$V_g^0 \cdot \alpha = 15,2 \text{ м}^3/\text{м}^3,$$

Тогда $I_d = \frac{36400 + 10 \cdot 1,7 + 15,2 \cdot 1,3 \cdot 10}{18,44} = 1990$ кДж/кг

Список литературы:

1. Михайловский В. П., Мартемьянова Э. Н., Ушаков В. В. Расчеты горения топлив, температурных полей и тепловых установок технологии бетонных и железобетонных изделий. Учебное пособие, – 2011. 264 – с.
2. Гушин С. Н. Расчеты горения топлив. – Книга. –1995. 48 – с.
3. Равич М. Б. Эффективность использования топлива. – Книга. –1977. 344 – с.
4. Зельдович Я. Б., Бернблатт Г. И., Либрович В. Б. Математическая теория горения и взрыва. – Книга. –1980. 478 – с.

ПОРИСТЫЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДОВ ЛИТИЙ–ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Фатыхов Р.Р., Хантимеров С.М., Базаров В.В.

Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского Казанского
научного центра РАН, 420029, г. Казань, ул. Сибирский тракт, д. 10/7

Сулейманов Н.М.

Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского Казанского
научного центра РАН, 420029, г. Казань, ул. Сибирский тракт, д. 10/7
Казанский государственный энергетический университет, 420066,
г. Казань, ул. Красносельская, д. 51

Аннотация. Данная работа посвящена исследованию и разработке новых электродных материалов для литий-ионных аккумуляторов. Рассмотрена возможность использования в качестве анода пористых наноматериалов.

Abstract. This work is devoted to research and development of new electrode materials for lithium-ion batteries. The possibility of using porous nanomaterials as an anode is considered.

Ключевые слова: литий-ионный аккумулятор, анодный материал, пористый кремний, интеркаляция

Литий-ионные аккумуляторы (ЛИА) рассматриваются в настоящее время как перспективные электрохимические системы хранения и преобразования энергии [1, 2]. Такие источники питания способны запастись в несколько раз больше энергии на единицу веса, чем традиционные накопители (аккумуляторные батареи и т.п.). Энергетическая емкость такого устройства определяется количеством ионов лития, способных обратимым образом перемещаться между катодом и анодом в процессе заряда/разряда литий-ионного аккумулятора [3]. В последнее время все более широкое внимание уделяется разработке эффективной конструкции электродных систем и методов быстрой перезарядки таких источников энергии с целью повышения их удельных энергетических характеристик, времени жизни, цикличности заряда/разряда и снижению деградации электродных материалов. Несмотря на то, что большее внимание уделяется исследованиям катодных материалов, без комплексного подхода, основанного на разработке новых материалов для анодов, трудно ожидать прорыва в области создания нового поколения ионных электрохимических аккумуляторов. Как известно, в качестве коммерческого анодного материала в ЛИА используется графит. Однако графит имеет относительно низкую теоретическую емкость, что значительно ограничивает быстрорастущий спрос на высокоемкостные аккумуляторы. В последнее время, в мире широко исследуются возможности использования углеродных

нанотрубок в качестве контейнеров лития. Действительно, высокая эффективная поверхность и химическая стойкость углеродных нанотрубок определяют важнейшие параметры, необходимые для сред в которых будет храниться литий. Вместе с тем, протяженность многостенных углеродных нанотрубок порядка десятков микрон могут существенно затруднять заполнение внутреннего пространства по всей их длине. В этой связи, большое внимание привлекают конические углеродные нанотрубки, стенки которых состоят из одиночных графитовых плоскостей, образующих массив конических сегментов с открытыми концами и длиной сотни нанометров. Таким образом, существует возможность адсорбции легких элементов поверхностью углеродных нанотрубок, а также возможность их интеркаляции в межплоскостное пространство конических сегментов.

В последнее время все большее внимание исследователей привлекают пористые материалы, в частности, пористый кремний, для применения в качестве анода литий-ионных аккумуляторов. Удельная эффективная площадь пористого кремния почти в десятки раз превышает аналогичный параметр для графита. Это позволяет увеличить разрядную емкость как самого электрода, так и литий-ионной ячейки. К сожалению, пористый кремний имеет существенный недостаток: при интеркаляции ионов лития происходит объемное расширение кремниевой решетки на 300%. Это приводит к растрескиванию и распаду электрода. В результате этого существенно снижается емкость аккумулятора.

Таким образом, разработка и исследование новых материалов для анодов ЛИА, которые позволят повысить удельные энергетические характеристики, срок службы, устойчивость к процессам заряда/разряда электрода, и, в конечном итоге, эксплуатационные параметры литий-ионного аккумулятора, является актуальной задачей.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-48-02420 р_поволжье_a).

Литература

1. John B. Goodenough and Kyu-Sung Park. The Li-Ion Rechargeable Battery: A Perspective. *J. Am. Chem. Soc.*, 2013, 135 (4), pp. 1167–1176.
2. Садовников А. В., Литий-ионные аккумуляторы / А. В. Садовников, В. В. Макаrchук // Молодой ученый, 2016, 23. С. 84-89.
3. DaDeng. Li-ion batteries: basics, progress, and challenges. *Energy Science & Engineering*, 2015, 3, pp. 385–418.

ИССЛЕДОВАНИЕ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ДЛЯ УСТАНОВКИ ПО ОБОГРЕВУ УЛИЧНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Халиулин Руслан Рафаэлевич, аспирант (КНИТУ-КАИ), steel-toreto@mail.ru

Давыдов Николай Владимирович, аспирант (КНИТУ-КАИ),

Юсеф Висам Махмуд, аспирант (КНИТУ - КАИ), vsychenkov@mail.ru

Сыченков Виталий Алексеевич, канд. техн. наук (КНИТУ - КАИ),
vsychenkov@mail.ru

Семичев Сергей Арнольдович, канд. техн. наук (КНИТУ - КХТИ),
vsychenkov@mail.ru

Мухаметгалиев Тимур Хатипович, аспирант (КНИТУ - КАИ),
vsychenkov@mail.ru

В связи с климатическими условиями в осенне-зимние периоды происходит значительное обледенение поверхностей трубопроводов коммунальных коммуникаций. Это значительно затрудняет их ремонт или замену. Для обеспечения доступа к поверхности использует различные тепловые пушки. В настоящей работе исследована петлевая камера сгорания для тепловой пушки.

In connection with the climatic conditions in the autumn-winter periods there is a significant icing of the surfaces of the pipelines of public utilities. This greatly complicates their repair or replacement. To provide access to the surface uses a variety of heaters. In this paper, a chamber for a chamber-heat generator is investigated.

Ключевые слова: камера сгорания, установка для обогрева, тепловая пушка, теплогенератор.

Для нагрева поверхности, покрытой льдом, в разрабатываемом теплогенераторе [1-3] используется горячая, высокоскоростная струя газов. Высокоскоростная струя формируется за счет сгорания распыленного топлива в камере сгорания, воздух в которую нагнетается электро-вентиляторами. Отличительной особенностью камеры сгорания является ее противоточная схема – продукты сгорания направлены на встречу потоку воздуха от вентиляторов.

В камерах сгорания с противоточной схемой происходит сложное взаимодействие потоков, т.к. происходит процесс смешения и горения с образованием вихревых зон. Экспериментальное исследование подобного рода течений в камере сгорания не дает полной картины процессов, а лишь может дать интегральные параметры на входе и на выходе.

Для моделирования и прогнозирования течения в камере сгорания нами использован программный комплекс ANSYS-Fluent. Моделирование позволило определить оптимальное расположение поясов отверстий для подвода вторичного воздуха и правильно распределить расход воздуха между поясами отверстий, чтобы процесс горения заканчивался до поворота – до

взаимодействия потока продуктов сгорания с высокоскоростной струей воздуха. На рисунке 1 приведен теплогенератор с разделением потоков.

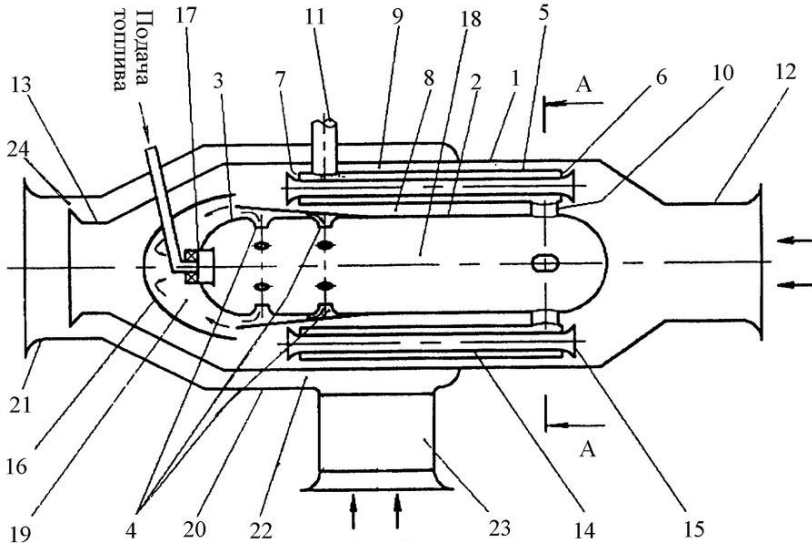


Рисунок 1 – Схема теплогенератора с разделением потоков подогретого чистого воздуха и продуктов горения.

Корпус – 1; жаровая труба – 2; фронтное устройство – 3; отверстия для подвода воздуха – 4; теплообменник – 5; торцевые стенки - 6, 7; кольцевые каналы - 8, 9; патрубки – 10; выхлопной патрубок – 11; входной патрубок – 12; патрубок выхода нагретого воздуха – 13; трубки 14; открытые торцы – 15; экран – 16; горелочное устройство - 17; внутренняя полость -18; полость -19; дополнительный кожух – 20; выходной патрубок – 21; кольцевой канал – 22; дополнительный источник подвода сжатого воздуха 23; сужающе-расширяющийся канал - 24.

Сжигание топлива в камере сгорания противоточной схемы позволяет существенно сократить размеры, уменьшить тепловые потери, т.к. вновь поступивший воздух нагревается от продуктов сгорания. При этом на выходе температура струи составляет $T=200^{\circ}\text{C}$ с расходом топлива $G=10-12$ л/ч. На рисунке 2 приведен теплогенератор без разделения потоков.



Рисунок 2 – Теплогенератор без разделения потоков воздуха и продуктов горения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузьмин В.А., Панченко В.И., Сыченков В.А., Бикбулатов Р.Р. Методики расчета эжекторов, применяемых в промышленности и энергетике // Современная наука: идеи, исследования, результаты, технологии. Сборник научных статей. Выпуск 2(10). – Киев: «НПВК Триакон», 2012. с. 92-95.

2. Панченко В.И., Сыченков В.А., Халиулин Р.Р., Александров Ю.Б., Мухаметгалиев Т.Х., Давыдов Н.В. Разработки кафедры «РДЭУ» // Реактивные двигатели и энергетические установки. Материалы докладов Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 70-летию основания кафедры ракетных двигателей Казанского авиационного института (КАИ) (г. Казань, 21-22 мая 2015 г.). - Изд-во Казан. ун-та, 2015. С. 223-229.

3. Панченко В.И., Сыченков В.А. и др. Воздушный отопитель, Патент RU 2439445 С2, 22.03.2010 г. 422540, Республика Татарстан, г. Зеленодольск, ОАО «Зеленодольское проектно – конструкторское бюро».

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НУЖД ОБЩЕГО И СПЕЦИАЛЬНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

С.М. Хантимеров, Н.М. Сулейманов, Р.Р. Гарипов

Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского Казанского
научного центра РАН, 420029, г. Казань, ул. Сибирский тракт, д.10/7
ООО «Новые структуры и технологии», 420036, г. Казань, ул. Дементьева, д.2В

Аннотация. В работе рассмотрено применение углеродных нанотрубок для повышения функциональных характеристик полимерных материалов. Приведены результаты исследований электрофизических свойств полимеров, допированных углеродными нанотрубками.

Abstract. The application of carbon nanotubes for the improvement of functional properties of polymeric composite materials is considered. The results on the investigation of the electrophysical properties of polymeric composites doped by carbon nanotubes are presented.

Ключевые слова углеродные нанотрубки, модификация, легирующие добавки, полимеры

Разработка образцов новой техники, конструкций специального назначения, обладающих высоким уровнем функциональных свойств, связана с необходимостью создания новых конструкционных материалов либо с повышением комплекса свойств используемых промышленных материалов. Эффективное решение данных проблем основано на разработке композиционных материалов, улучшение физико-химических свойств которых обусловлено введением в матрицу мелкодисперсных частиц. Углеродные нанотрубки (УНТ), обладающие комплексом уникальных физико-химических свойств, могут рассматриваться как один из наиболее перспективных видов модификаторов [1, 2]. Мелкодисперсные наполнители на основе УНТ позволяют менять как прочностные характеристики конструкционных полимеров, так и в широких пределах электропроводность полимерной матрицы. Это значительно расширяет круг возможных применений композитных материалов. Ключевым звеном при создании композитов с заданными свойствами является понимание механизма образования композитов при взаимодействии составляющих компонентов, основных и легирующих.

В работе представлены результаты исследований, направленных на получение функционализированных углеродных нанотрубок различного типа (одностенные, многостенные, конические), с целью их последующего равномерного распределения в полимерном материале. Функционализация УНТ проводилась путем их термохимической обработки в растворах и смесях азотной и серной кислот (в различных соотношениях) с одновременной ультразвуковой обработкой. Было установлено, что предварительная функционализация позволяет добиться равномерного распределения УНТ в

объеме материала. Были изготовлены лабораторные образцы электропроводящего композиционного материала на основе таких функционализированных углеродных нанотрубок и полимерной матрицы. Четырехзондовым методом были исследованы электропроводящие свойства полученных образцов. Было установлено, что увеличение электропроводности происходит немонотонно: наиболее резкое ее изменение наблюдалось в узкой области концентраций наполнителя, что позволяет говорить о переходе диэлектрик–металл или перколяционном переходе при доле проводящих частиц в объеме материала, равной порогу перколяции [3].

Разрабатываемый электропроводящий композиционный материал на основе полимеров и УНТ может быть использован, например, при изготовлении токопроводящих паст и клеев, в качестве электропроводящих прокладок и пластин в современных композиционных деталях машин в общем и специальном машиностроении.

Литература

1. Wang C., Guo Z.-X., Fu S., Wu W., Zhu D. Polymers containing fullerene or carbon nanotube structures. Prog. Polym. Sci. 2004. V. 29. P. 1079–1141.
2. Хантимеров С.М., Сулейманов Н.М. Многофункциональные наноструктурные наполнители для полимеров. Материалы МНТК ИМТОМ-2014, 3-5 декабря 2014 г., г. Казань.
3. Zhang H., Guo H., Deng X., Gu P., Chen Z., Jiao Z. Functionalization of multi-walled carbon nanotubes via surface unpaired electrons. Nanotechnology, 26, 85706, 2010.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ СМЕСИТЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ ЖРД МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ

Хрюкин Роман Владимирович, Гостева Ксения Вячеславовна,
Смоленцев Евгений Владиславович

Воронежский государственный технический университет
г. Воронеж, 394026, Московский проспект, 14

Аннотация. В работе рассмотрены перспективы применения современных технологий и технологического оснащения в производстве жидкостных ракетных двигателей.

Annotation. The paper considers the prospects of applying modern technologies and technological equipment in the production of liquid rocket engines.

Ключевые слова: ракетный двигатель, аддитивные технологии, 3D-печать.

Аддитивное производство, или 3D-печать, началось с идеи быстрого прототипирования. С того времени началась разработка новых технологий 3D-печати, появились новые решения и возможность использования для печати новых материалов.

Аддитивные технологии являются перспективными, принципиально новыми для производства изделий в различных областях: машиностроения, самолетостроения, ракетостроения и других.

Аддитивные технологии позволяют:

- изготавливать детали из композиционного материала;
- воспроизводить форму изделия по компьютерной модели, уменьшая потери материала при механической обработке;
- изменять состав материала во время нанесения согласно функциональной особенности поверхностной и внутренней части детали;
- получать материалы со свойствами, характерными только для лазерной обработки [1].

Суть печати заключается в сложении, в послойном наращивании материала, путем нанесения его последовательно, слой за слоем. При этом материала расходуется столько, сколько необходимо для изготовления деталей различной сложности.

С помощью ПО компьютерная модель делится на слои одинаковой толщины; 3D-принтер создаёт изделие, путём последовательного нанесения одного слоя на другой.

Можно сказать, что аддитивные технологии это еще один способ изготовления деталей из разных материалов и различной сложности, не уступая традиционным механическим методам обработки.

В настоящее время известны несколько технологий 3D-печати, например:

- 1) быстрое прототипирование;
- 2) лазерная стереолитография (SLA);
- 3) селективное лазерное спекание.

В данной работе рассмотрен метод селективного лазерного спекания (SLS). В основе метода лежит использование лазерных излучателей высокой мощности для частичного спекания материала в единое целое.

Как и другие технологии 3D-печати, лазерное спекание создает изделие послойно. Сначала наносится слой порошка, который, с помощью лазера, при высоких температурах, частично расплавляется в местах касания луча [2]. В результате частицы спекаются между собой, а также с предыдущим слоем, вычерчивается новый контур. В данном случае модель находится в неизрасходованном материале вплоть до окончания печати. Принцип метода «селективного лазерного спекания», представлен на рисунке 1.

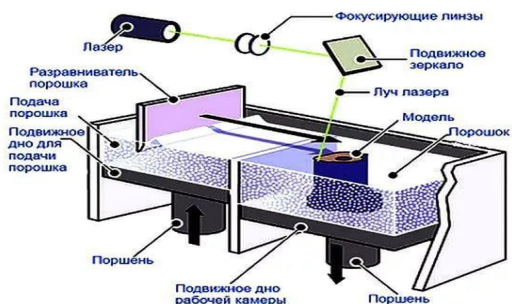


Рисунок 4. Схема устройства 3D-принтера

Как видно на рисунке 1, лазерный луч, с помощью системы зеркал, переносится в зону построения изделия, где по мере формирования слоя подвижная платформа опускается и начинается формирование нового слоя, который подается выдвиганием платформы подачи материала и выравнивается в ровный слой роликом.

Смесительная головка камеры жидкостного ракетного двигателя, включающая наружное, среднее и внутреннее (огневое) днища, соединенные между собой двухкомпонентными, однокомпонентными форсунками, пайкой и сваркой. Двухкомпонентные форсунки расположены по нескольким концентрическим окружностям, при этом несколько двухкомпонентных форсунок выступает из огневого днища, образуя антипульсационные перегородки в виде кольца с шестью расходящимися лучами, деля поперечную площадь камеры сгорания на семь равнозначных полостей.

Однокомпонентные форсунки выступают из огневого днища, а форсунки антипульсационных перегородок выступают в огневую полость камеры. Концы форсунок соединены между собой припоем или сварным швом. Выступающие форсунки предотвращают развитие колебаний в камере.

По внутренним трубкам поступает жидкий кислород, а по наружным – отработанный на турбине турбонасосного агрегата (ТНА) генераторный газ с избытком водорода. Через поры днищ «чистый» водород с низкой температурой (около 300 К) из полости между огневой и средней днищем под давлением проникает, с одной стороны, в камеру сгорания, а с другой – в полость между средним и наружным днищами с горячим генераторным газом. В результате обеспечивается охлаждение обоих днищ корпусов выступающих форсунок.

В рассмотренном технологическом процессе для того, чтобы изготовить смесительную головку (без учета изготовления форсунок), необходимо выполнить 400 операций, из них: 20 контрольных; 3 операции сварки и 2 операции пайки; 3 фрезерных операции, выполняемых на программных пятикоординатных станках с числовым программным управлением (ЧПУ); 21

операция перемещения (транспортировки). Для изготовления форсунок в среднем выполняется около 150 операций.

Трудоемкость изготовления корпуса смесительной головки составляет, в среднем, 1150 часов, а всех форсунок – 515 часов. В итоге время полного изготовления смесительной головки составляет 1665 часов, при 8-ми часовом графике работы, в 2-е смены, 5 дней в неделю, мы получаем первое готовое изделие, приблизительно, через 5 месяцев.

SLS метод позволит упростить изготовление смесительной головки: объединить изготовление камеры с изготовлением форсунок; избежать сложности изготовления каналов охлаждения форсунок, исключив из конструкции пайку и сварку; позволит сократить маршрут изготовления и количество операций промежуточного контроля.

Для изготовления смесительной головки ЖРД методом послойного лазерного спекания был выбран металлический порошок Inconel (Инконель) 718. Эти сплавы стойки к окислению и коррозии. При нагреве на их поверхности образуется тонкая устойчивая пассивирующая окисная плёнка, предохраняющая поверхность от дальнейшего разрушения. Инконель сохраняет прочность в широком промежутке температур, поэтому подходит для изделий, часто используемых в экстремальных условиях (газотурбинный двигатель, компрессор, химические аппараты, пароперегреватели и так далее).

Расход порошка при изготовлении методом селективного лазерного спекания зависит от массы изготавливаемого изделия, к которой необходимо прибавить примерно 30% от общей массы изделия. Это обусловлено тем, что порошок при спекании прогорает (улетучивается). После того, как все подготовительные мероприятия завершены (рассчитан и приобретен материал), начинается разработка управляющей программы для 3D-принтера.

Процесс 3D-печати начинается с создания виртуального образа будущего объекта в CAD-программах. Модель построена в CAD-программе «Siemens NX» (рисунок 2). После построения 3D-модели полученный файл переводят в STL-формат, который распознаёт большинство современных 3D-принтеров.

STL-файл с будущим объектом обрабатывается специальной программой, которая разрезает модель на тонкие горизонтальные пластины (толщина слоя 0,2 - 0,4 мм) и преобразуют в цифровой G-код, понятный трёхмерному принтеру. После чего модель отправляется на печать и начинается процесс лазерного спекания гранул порошка в единое изделие.

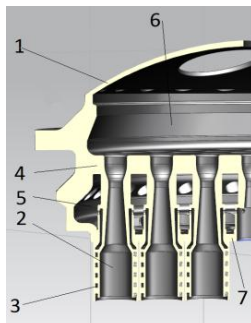


Рисунок 2. Смесительная головка: 1 – верхнее днище; 2 – форсунка; 3 – каналы охлаждения форсунки; 4 – среднее днище; 5 – полость горючего; 6 – полость окислителя; 7 – огневое днище.

После того, как принтер завершил свою работу, изделие направляют на операцию механической обработки. Она требуется для того, чтобы обеспечить требуемую шероховатость посадочных мест под крепление смесительной головки в корпусе турбонасосного агрегата (ТНА). Модель, полученная представленным методом, соответствует всем технологическим характеристикам и пригодна к эксплуатации.

Трудоемкость изготовления детали методом SLS составляет, в среднем, 500 часов: от начала печати до упаковки и сдачи. В ряде случаев применение аддитивных технологий совершенно оправданно, однако для наработки производственного опыта, отработки процессов изготовления деталей (изделий) потребуются колоссальные затраты времени и ресурсов. Данная технология производства потребует поддержки со стороны всей промышленности в целом, а также разработки систем технологического проектирования для аддитивных станков.

Применение аддитивных технологий на производстве нуждается в большой поддержке, как с экономической точки зрения, так и с научно-исследовательской. В ряде случаев переход на прогрессивные технологические процессы позволит сократить время изготовления изделий и устранить погрешности при сборке.

Список использованных источников

1. Новиченко Д.Ю. Разработка и исследование процесса прямого лазерного изготовления детали из композиционного материала на основе стали и карбида титана: авто-реф. дисс. канд. тех. наук / Д.Ю.Новиченко; МГТУ им. Н.Э.Баумана – М., 2011. – 18 с.

2. Смоленцев Е.В. Проектирование комбинированных методов обработки для типовых процессов/ Е.В. Смоленцев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, №2-3, 2012. С. 43-49

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| СЕКЦИЯ № 3 | |
| «Химическое машиностроение» | 3 |
| Архиреева О.В. Синтез поверхностно-активных веществ на основе этилендиаминтетрауксусной кислоты | 4 |
| Билалов Р.Р., Дебердеев Т.Р., Каримова Л.К., Лексин В.В., Дебердеев Р.Я. Инновационная технология для решения проблем химической промышленности | 7 |
| Билалов Т.Р., Гумеров Ф.М., Гатина Р.Ф. Экстракционные и импрегнационные процессы с использованием сверхкритического флюидного состояния | 11 |
| Бурмистров А.В., Саликеев С.И., Райков А.А, Тюрин А.В., Капустин Е.Н. Разработка типоразмерного ряда безмасляных спиральных вакуумных насосов..... | 15 |
| Визгалов С.В., Волков М.В., Чекушкин Г.Н., Хисамеев И.Г. Роторный нагнетатель внешнего сжатия с газовым эжектором для химической промышленности: моделирование рабочего процесса, характеристики | 20 |
| Визгалов С.В., Мустафин Т.Н., Шарапов И.И. Характеристики турбохолодильных машин химических предприятий при переводе на озонобезопасные хладагенты | 25 |
| Желонкин Я.О. Модульное плазменное оборудование для научных исследований..... | 29 |
| Желонкин Я.О., Муртазин Р.Н., Саликеев С.И., Бикташев А.А., Пальцев А.В., Сунгатуллин И.А. Разработка технологии изготовления высокопрочных отливок из алюминиевых сплавов с повышенными физико-механическими свойствами с использованием нанопорошков для корпусов автоматики и систем управления перспективных изделий ракетно-космической техники | 31 |
| Капустин Е.Н., Исаев А.А., Тюрин А.В., Бурмистров А.В. Разработка и освоение выпуска отечественных торцевых уплотнителей для безмасляных спиральных вакуумных насосов..... | 34 |
| Клинов А.В., Фарахов М.И., Акберов Р.Р., Фазлыев А.Р., Латыпов Д.Р., Хайруллин И.М. Обезвоживание спиртов с использованием процесса первапорации | 38 |
| Ключников О.Р., Мартынов А.В., Фонкоу Мелабонг Дж., Истамов Х.Й. Исследование адгезивов резина-металл на основе П-динитрозобензола и хлорированных полимеров | 42 |
| Махоткин А.Ф. Вихревые аппараты в химической промышленности..... | 45 |
| Москалев Л.Н., Поникаров С.И. Контактный конденсатор вихревого типа и его применение в химической промышленности | 50 |

| | |
|---|-----|
| Муратаев Ф.И. Особенности сопротивления химической и электрохимической коррозии змеевиков парообразования | 53 |
| Мустафин Т.Н., Якупов Р.Р., Хамидуллин М.С., Уйбекова Л.Х., Паранина О.Ю., Хисамеев И.Г. Анализ факторов, влияющих на температурное поле роторов винтового компрессора | 58 |
| Назаров А.А., Поникаров С.И., Петлин К.А. Вакуумное дегидрирование углеводородного сырья в химической и нефтехимической промышленности | 61 |
| Осипов Э.В., Теляков Э.Ш. Комбинированная вакуумсоздающая система (ВСС) на базе жидкостно-кольцевого вакуумного насоса | 67 |
| Паранин Ю.А., Хабеев А.Ф., Биктимеров Ш.Ш., Налимов В.Н., Минязев Л.Б., Ефимов А.Н. Винтовая модульная компрессорная установка ТАКАТ для применения в системах компримирования на скважинах с понижающимся дебетом ПАО «ГАЗПРОМ» | 71 |
| Садыков А.А., Шарафеев Р.Ф., Сагбиев И.Р. Улучшение эксплуатационных характеристик скважинного двухвинтового насос-компрессора за счет изменения геометрии роторов | 76 |
| Хайрутдинов В.Ф., Гумеров Ф.М., Фарахов М.И. Сверхкритический пропан-бутан в нефтепереработке и нефтехимии | 80 |
| Хамидуллин Р.Н., Величко М.Ю. Новый подход к разработке оборудования процессов дистилляции | 84 |
| Р.Н.Яруллин, Ф.Т.Юсупов, А.А.Саетшин, Э.Н.Идрисов, Е.Л.Магухин Особенности оборудования и технологий получения мелкодисперсного продукта на основе растительного природного сырья | 89 |
| СЕКЦИЯ № 4 | |
| «Математическое и физическое моделирование информационных, технических, технологических и управленческих систем и процессов» | |
| Александров Ю.Б., Мингазов Б.Г., Хасанова Ю.А., Гибадуллина А.Э., Шарафутдинова Р.А., Михайлов Э.А. Программа компьютерного моделирования и расчета камер сгорания ГТД | 94 |
| Александров Ю.Б., Мингазов Б.Г., Хасанова Ю.А., Гибадуллина А.Э., Шарафутдинова Р.А., Михайлов Э.А. Анализ камеры сгорания ГТД на основе численного моделирования | 98 |
| Андрианов Д.Ю., Фищенко П.А. Опасные зоны при движении беспилотной транспортной платформы | 102 |
| Асылгараева Г.Х., Карабцев В.С., Товштейн М.Я. Об онтологической модели трансмиссии грузового автомобиля на основе технических требований к её элементам | 105 |
| Баева Л.Б. Компьютерное моделирование процесса резания труднообрабатываемых материалов с использованием смазочно-охлаждающих жидкостей в среде DEFORM 3D | 109 |
| Баженов Н.Г., Антипанова И.С., Пьянкова А.Д. Математическое описание маломощных трансформаторов | 112 |

| | |
|---|-----|
| Бахшиев И.Б. Оптимизация процесса технологической подготовки производства изделий с использованием систем управления жизненным циклом изделия | 116 |
| Бударова О.П., Белоусов А.М. Экспериментальные исследования изнашивания пар трения аксиально-поршневых насосов при различном уровне загрязнения масла водой | 120 |
| Волкова И.И. Математическое моделирование при создании методики обеспечения надежности изделия | 125 |
| Гавариева К.Н., Симонова Л.А., Панкратов Д.Л., Шibaков В.Г., Гавариев Р.В. Применение многоагентной системы для управления параметрами процесса прецизионной штамповки зубчатых конических колес | 128 |
| Газизуллин Р.М., Минуллин Р.Г. Прогнозирование гололедно-изморозевых отложений на основании метеопрогноза на проводах воздушных линий электропередачи..... | 132 |
| Гараева А.Р., Павлов П.П., Истопленников М.А., Корольков А.Ю. Формирование исходных данных для диагностической модели аппаратуры сложных технических систем | 136 |
| Гатиятов И.З., Сабитов Л.С., Ихсанов Р.М., Патрушев Г.А., Кашапов Н.Ф. Способ динамических испытаний опор воздушных линий электропередачи | 139 |
| Гимадиев Р.Ш. Задача термоупругости линий электропередач | 141 |
| Гурьянова Е.О., Демьянов Д.Н. Компьютерное моделирование системы распределения крутящего момента гибридного большегрузного автомобиля в условиях проскальзывания одного из колёс | 145 |
| Демьянов Д.Н. Оценка состояния технической системы при наличии параметрических возмущений и отсутствии информации о входных воздействиях | 149 |
| Зиятдинов Р.Р., Биктимиров Р.А. Автоматизированная система распознавания дорожных знаков для систем ADAS | 153 |
| Искакова А.Ж. Моделирование объектов в системах автоматизированного проектирования..... | 158 |
| Истопленников М.А., Павлов П.П., Гараева А.Р., Соловьева С.И. Комбинаторно-диагностическая модель аппаратуры сложных технических систем | 162 |
| Карелин Д.Л., Болдырев А.В., Болдырев С.В., Белоусов А.М. Моделирование динамики парокompрессионной системы охлаждения с полным промежуточным охлаждением рабочего тела | 164 |
| Карелин Д.Л., Болдырев А.В., Болдырев С.В., Белоусов А.М. Экстергетический анализ парокompрессионной системы охлаждения с промежуточным теплообменником с использованием фреона - 132b | 169 |
| Каримов В.С. Синтез системы автоматического управления с запаздываниями на примере двигателя внутреннего сгорания | 172 |

| | |
|--|-----|
| Касимов В.А., Минуллин Р.Г., Филимонова Т.К. Моделирование влияния гололедно-изморозевых отложений на передачу сигналов по проводам воздушных линий электропередачи..... | 176 |
| Касьянов С.В., Сафаров Д.Т. Математическое моделирование технологической структуры отклонения показателя точности детали автомобиля.... | 180 |
| Касьянов С.В., Сафарова Л.Р. Проектирование технологических процессов изготовления деталей машин с учетом образования попутных продуктов, отходов и выбросов | 183 |
| Ковалёв И.С. Математическое и компьютерное моделирование системы охлаждения дизельного двигателя грузового автомобиля..... | 188 |
| Милостной М.Ю., Герман О.А., Бердиев О.Ш. Прогнозирование программы выпуска продукции с применением имитационного моделирования на примере цеха программной обработки деталей..... | 192 |
| Моренко И.В. Математическое моделирование обрушения столба жидкости в каналах разной формы | 195 |
| Москалев Л.Н., Поникаров С.И. Моделирование процесса абсорбции производства технического формалина с интеграцией нестандартного оборудования | 199 |
| Низамеев А.Ю., Юсупов Ф.Т., Саетшин А.А., Идрисов Э.Н., Зиятдинов А.М., Матухин Е.Л. Математическое описание основных технологических процессов и их применение в химической промышленности..... | 204 |
| Новичков С.В., Григорьев И.С. Влияние давления сжатого воздуха после воздушного аккумулятора на конструкцию регенератора в схеме ВАГТЭ | 206 |
| Пшеничный П.В., Стрекалов В.А., Тагиров Р.Р., Шаймухаметов Р.Р. Спектральный анализ акустических шумов автомобиля | 209 |
| Радайкин О.В., Шарафутдинов Л.А., Сабитов Л.С., Стрелков Ю.М. Исследование совместной работы опор линий электропередач со сборным железобетонным фундаментом нового типа на основе компьютерного моделирования в ПК ANSYS | 213 |
| Ростунцова И.А., Русаков Д.А. Моделирование технологического процесса глубокого охлаждения уходящих газов ПГУ | 220 |
| Ростунцова И.А., Батеев Н.А. Внедрение технологии газового промпрегрева на мощных блоках ПГУ | 224 |
| Сабинов А.Р., Хусайнов Р.М. Расчет направления осей деформаций в рабочей зоне вертикально-фрезерного станка | 228 |
| Сабитов Л.С., Ильин В.К., Кашапов Н.Ф., Хамидуллин И.Н. Численное моделирование новой опоры линии электропередачи | 233 |
| Садыков А.М. Создание логической математической модели для организации производства по ремонту и обслуживанию тяжелой техники | 239 |
| Сафаров Д.Т., Глинина Г.Ф. Дифференциальный расчет и оптимизация потребления электроэнергии при проектировании операций обработки деталей на станках с ЧПУ | 242 |
| Сафаров Д.Т., Кузьмичева Я.К. Применение метода блокчейна для управления качеством машиностроительной продукции | 242 |

| | |
|---|-----|
| Трус И.Н., Гомеля Н.Д., Иваненко Е.И., Воробьева В.И. Математическое моделирование процесса очистки вод, содержащих ионы меди | 251 |
| Тукмакова Н.А., Тонконог В.Г., Тукмаков А.Л. Численное моделирование гидродинамики парокапельных систем с учетом коагуляции и дробления частиц | 253 |
| Филина О.А., Пасечник С.В., Гараева А.Р. Оперативная диагностика энергетических установок | 257 |
| Хайбуллина А.И., Бадретдинова Г.Р. Внешняя теплоотдача в коридорных пучках труб различной конфигурации при наложении низкочастотных пульсаций | 261 |
| Хайбуллина А.И., Чирухин К.В. Теплогидравлическая эффективность коридорного пучка труб в условиях пульсирующего потока жидкости | 267 |

СЕКЦИЯ № 5

| | |
|--|------------|
| «Инновационные сварочные технологии в промышленности» | 272 |
|--|------------|

| | |
|--|-----|
| Беляев А.В., Галимов Э.Р., Аблясова А.Г., Мухамадеев И.М. О возможности использования методологии параметризации микроструктур для сварных соединений | 273 |
| Беляев А.В., Галимов Э.Р., Аблясова А.Г., Низамов Р.А., Новиков А.В. Тепловые расчеты для прогнозирования структуры сварных соединений в машиностроении | 277 |
| Звездин В.В., Клочкова К.В., Рахимов Р.Р., Саубанов Р.Р., Песошин В.А. Технологические особенности лазерной сварки чугунов с вермикулярным графитом | 281 |
| Колесников Д.Н., Солопова Е.А., Петров Р.В. Прогнозирование свойств сварного соединения и его геометрических параметров при лазерной сварке.... | 284 |
| Колесников Д.Н., Пискунов Е.Д., Ерахмадов С.Н. Воздействие лазерной сварки на основной и присадочный материал при сварке высоколегированных сталей и сравнение с дуговыми способами | 288 |
| Муратаев Ф.И. Адаптация содержания дисциплины «диагностика и контроль качества сварных соединений» к требованиям ФГОС ВПО 3+ | 290 |
| Солопова Е.А., Янпаров Е.М. Некоторые аспекты разработки технологии сварки трубопроводов для транспортировки агрессивных сред | 295 |

СЕКЦИЯ № 6

| | |
|---|------------|
| «Инновационные разработки малых и средних предприятий» | 299 |
|---|------------|

| | |
|--|-----|
| Баскевич П.П. Научно-техническая деятельность малых предприятий, инновации, инвестиции, партнерство с предприятиями машиностроительного комплекса | 300 |
| Гилязов И.Н., Астащенко В.И., Емельянов Д.В. О возможности использования электролитно-плазменного борирования деталей | 305 |

| | |
|--|-----|
| Головко А.Н., Головко И.В. Применение инструментов червячного типа для чистовой обработки зубьев зубчатых колес..... | 309 |
| Давлетшина Г.К., Кондрашов А.Г., Заиров Б.Ф., Заиров Л.Ф. Влияние микроструктуры чугуна на работоспособность инструмента в процессе резания | 310 |
| Двоглазов В.В., Двоглазов Д.В. Проблемы создания легких и недорогих гиостабилизированных платформ для БЛА. Легкий бесколлекторный мотор с большой удельной мощностью для применения в качестве прямого привода осей гиостабилизированных платформ | 314 |
| Дмитриев И.А., Зименская Э.В. Разработка автопилота самолета СВВП | 318 |
| Долгова А.Н., Паулкин М.А. Энергосбережение на установке осушки углеводородных газов..... | 320 |
| Долгова А.Н., Кадыров А.М., Горожанкина П.В., Арсланов А.Р., Яруллина А.А. Применение сорбентов для очистки жидких сред..... | 323 |
| Имелбаева Э.В., Снигирева Ю.В., Новиков В.Ф. Проблема загрязнения сточных вод гальванического производства..... | 324 |
| Камалов Р.Р., Салимов Р.И. Разработка функциональной схемы системы головного освещения беспилотного грузового транспорта..... | 328 |
| Кондрашов А.Г., Мифтахов А.Ф., Мухаметдинов Р.Г., Гильман В.Н. Методика расчета траектории движения дисковой фрезы при обработке цилиндрических зубчатых колёс | 332 |
| Корольков А.Ю., Павлов П.П., Соловьева С.И., Истоппенников М.А. Прогнозирование технического состояния сложных технических систем | 336 |
| Кузнецова Ю.И., Никонова Т.Ю. Методы диагностики состояния рабочей жидкости в гидроприводе..... | 338 |
| Мелюхов Н.И., Крючков И.С. О процессах коррождения оковок несущего винта вертолётa..... | 342 |
| Минабудинов Д.К., Минабудинов К.Г. Возможность получения синтетического мелкодисперсного диоксида кремния фторидным гидролизным методом | 344 |
| Мубаракшин И.И. Зависимость контактных деформаций в плоских стыках металлорежущих станков от качества обработки контактирующих поверхностей | 347 |
| Нагимова Э.В., Гусячкин А.М. Экономически выгодный вариант конструкции трубопроводов тепловых сетей с разными теплоизоляционными материалами | 351 |
| Поташникова Н.С. 3D прототипирование как прогрессивный технологический процесс в машиностроении | 354 |
| Рябов Е.А., Хисамутдинов Р.М., Юрасов С.Ю. Направление схода стружки при обработке фасонной поверхности радиусной фрезой | 356 |
| Соловьева С.И., Павлов П.П., Истоппенников М.А., Корольков А.Ю. Повышение надежности элементов систем электроснабжения высокоскоростного наземного транспорта..... | 359 |
| Сухоруков Д.В., Сухорукова Е.В., Шаршин В.Н., Сиразитдинов Р.Ш. Технологические аспекты производства изделий литьем с центрифугированием расплава | 361 |

| | |
|--|-----|
| Тутаев Д.Е., Муравьев О.П., Никонова Т.Ю. Особенности процесса деформационного упрочнения металлов и сплавов | 363 |
| Умутбаев Р.Р., Салимов Р.И. Разработка функциональной схемы системы дистанционного запуска ДВС беспилотного автомобиля..... | 367 |
| Урманов М.Д. Использование временной характеристики в качестве одного из компонентов комплексной диагностики режущего инструмента | 370 |
| Файзуллина А.И. Расчет параметров для эффективного горения газообразного топлива | 374 |
| Фатыхов Р.Р., Хантимеров С.М., Базаров В.В., Сулейманов Н.М. Пористые наноструктурированные материалы для электродов литий-ионных аккумуляторов | 378 |
| Халиулин Р.Р., Давыдов Н.В., Юсеф Висам Махмуд, Сыченков В.А., Семичев С.А., Мухаметгалиев Т.Х. Исследование камеры сгорания для установки по обогреву уличных коммуникаций | 380 |
| Хантимеров С.М., Сулейманов Н.М., Гарипов Р.Р. Перспективные композиционные материалы для нужд общего и специального машиностроения | 374 |
| Хрюкин Р.В., Гостева К.В., Смоленцев Е.В. Изготовление смесительной головки ЖРД методом селективного лазерного спекания..... | 384 |

Материалы
VIII Международной научно-технической конференции
«Инновационные машиностроительные технологии,
оборудование и материалы – 2017»

Часть 2

Подписано в печать 29.11.2017

Формат 60×84/16

Бумага офсетная

Тираж 300 экз.

Отпечатано в ООО «Фолиант»
г. Казань, ул. Профсоюзная, 17в



**АО «Казанский научно-исследовательский институт
авиационных технологий»**

г. Казань, ул. Дементьева, д. 2в

тел.: (843) 571-31-79

571-31-49

факс: (843) 510-53-63

e-mail: oao@kniat.ru

web: www.kniat.pф

ISBN 978-5-9500631-7-6



9 785950 063176

