

## **ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДОТОПЛИВНОЙ ЭМУЛЬСИИ ВЯЗКОГО МАЗУТА С ГУМАТАМИ**

Колесникова М.М., Карпов Д.С.

*Тамбовский государственный технический университет. E-mail: mtk.86@mail.ru*

В современных условиях эксплуатации различных топливных установок при сжигании углеводородного сырья промышленность встречается с рядом проблем, которые не только влияют на надежность работы энергетического оборудования, но и приводят к перерасходу топлива, снижению технико-экономических показателей, загрязнению окружающей природной среды (загазованности воздушного бассейна и загрязнению почвы и водоемов сбросными водами, содержащими нефтепродукты, в частности мазут).

Использование водотопливных эмульсий позволяет повысить коэффициент сжигания топлива, повысить на 3-5% КПД топливных установок и уменьшить вредные выбросы продуктов сгорания. Еще одним важным фактором, характеризующим эффективность использования водотопливных эмульсий, является повышение эффективности и долговечности топочного оборудования. Перерасход топлива из-за загрязнения поверхностей нагрева в котлах сажистыми и коксовыми частицами составляет 30-35% [1, 2].

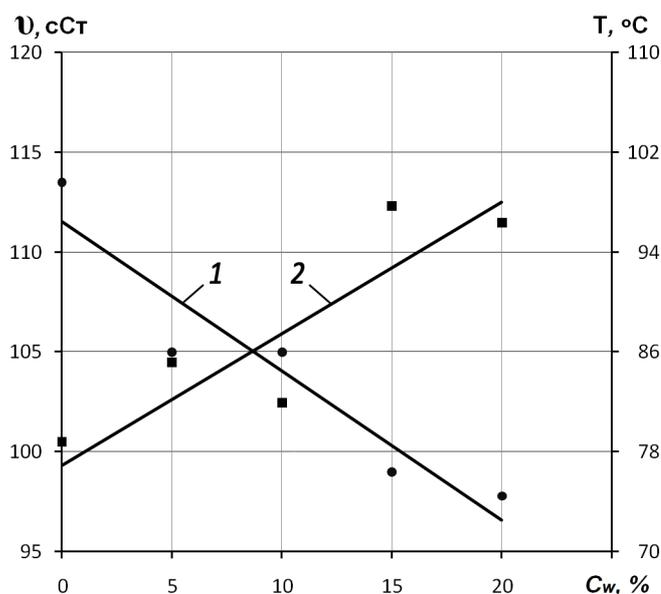
Наиболее часто встречающимися проблемами при использовании мазута в качестве топлива является обводнение, ухудшение качества исходных данных видов топлив, «старение» мазута, загрязнение окружающей среды продуктами сгорания и сбросными водами, содержащими нефтепродукты. Одним из эффективных и мало затратных методов решения указанных проблем является предварительная обработка исходного мазута с целью получения водотопливной эмульсии и использование уже этой эмульсии в качестве топлива.

К недостаткам использования водомазутной эмульсии (ВМЭ) в качестве топлива следует отнести увеличение вязкости и плотности топливной эмульсии при увеличении концентрации воды в мазуте, коррозию деталей системы подачи топлива, расслоение ВМЭ при длительном хранении без добавления ПАВ, необходимость изменения системы топливоподготовки.

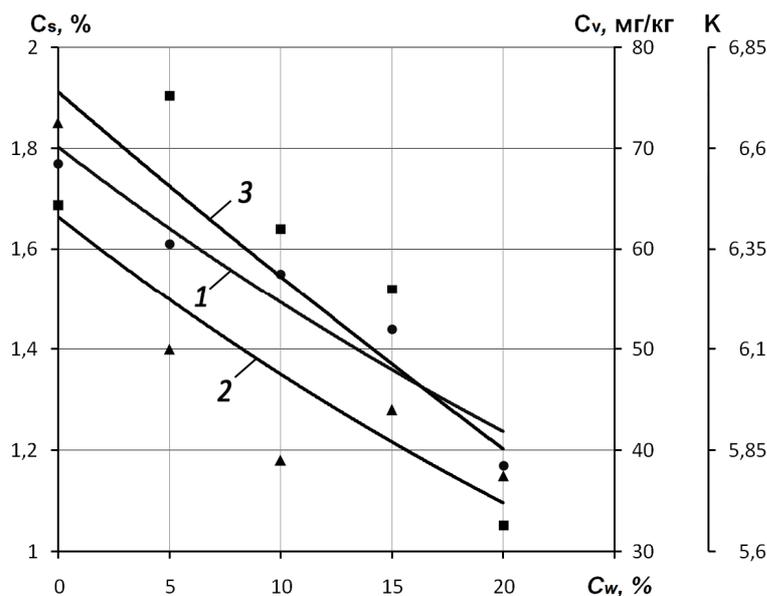
Устранение или снижение негативных качеств ВМЭ как топлива можно обеспечить введением в эмульсию специальных веществ, улучшающих их характеристики. К таким веществам относятся водные растворы гуматов, которые могут обеспечить улучшение качественных характеристик эмульсии и использоваться в качестве водной фазы при приготовлении ВМЭ [3, 4].

Нами были проведены экспериментальные исследования по определению влияния водного раствора гуматов (ВРГ) на качественные характеристики ВМЭ на основе судового мазута ИФО 380 с исходной массовой долей воды 0,25%. ВРГ (рН=10,6) содержал 5% сухих солей гумусовых кислот. Получение ВМЭ производилось методом циклического смешивания в роторном импульсном аппарате. Изменение характеристик ВМЭ с ВРГ показано на рис. 1 и рис. 2.

Анализируя данные, можно сделать вывод, что значение вязкости ВМЭ с концентрацией ВРГ 5% и 10% практически равно значению вязкости мазута ИФО-380. В этом случае возможно применение такой ВМЭ в качестве топлива без модернизации топливной аппаратуры. Энергетические затраты на прокачку ВМЭ в топливной системе также не увеличатся.



**Рис. 1.** Графики зависимостей вязкости и температуры вспышки в закрытом тигле ВМЭ от концентрации воды:  
 1 – График зависимости вязкости, (экспериментальные точки ●);  
 2 – График зависимости температуры вспышки (экспериментальные точки ■)



**Рис. 2.** Графики зависимостей коксуемости, концентраций серы и ванадия от концентрации воды ВМЭ:  
 1 – График зависимости содержания серы (экспериментальные точки ●);  
 2 – График зависимости содержания ванадия (экспериментальные точки ▲);  
 3 – График зависимости коксуемости (экспериментальные точки ■)

Результаты анализов показывают, что с повышением концентрации ВРГ в ВМЭ уменьшилось содержание серы и ванадия. Уменьшение количества ванадия и серы могло произойти за счет их перехода в другие химические соединения. При сжигании ВМЭ можно прогнозировать существенное уменьшение выбросов  $\text{SO}_2$ . Кроме снижения выбросов вредных веществ, при уменьшении содержания серы и ванадия в мазуте, уменьшается его коррозионная активность. Таким образом, при использовании

ВМЭ на основе ВРГВ, снимается одна из основных проблем, препятствующая широкому применению ВМЭ в качестве топлива – коррозия деталей топливной аппаратуры.

Добавление в ВМЭ ВРГ в количестве до 20% по объему позволяет наиболее простым путем связывать серу и использовать низкокачественные судовые мазуты для судовых дизелей. Уменьшение параметра коксуемости ВМЭ, при увеличении концентрации ВРГВ, позволяет предполагать, что при работе на ВМЭ уменьшится образование нагара и коксования в топливном агрегате.

По анализу фотоснимков ВМЭ, полученных на опто-электронной установке «Wideomat», сделан вывод, что молекулы смол располагаются оболочками вокруг глобул воды, в результате чего общая поверхность испарения увеличивается. Толщина смолистой оболочки в силу поверхностного натяжения обволакивает глобулы воды так, чтобы быть соизмеримой с её размером. Смолистые пленки других структур (асфальто-смолистых, смолисто-твердых) также создают оболочку вокруг глобул воды и других включений (мех. примеси). ВМЭ с ВРГ имеет текучесть на уровне мазута IFO-380.

Наиболее однородная и мелкодисперсная ВМЭ получается при добавлении в мазут ВРГ в количестве 5% и 10%. В пробах ВМЭ с 15%-20% ВРГ размер глобул воды увеличивается с 3 мкм до 5 мкм. В этих образцах ВМЭ преобладают неравномерно распределенные глобулы воды в объеме топлива, цепочкообразные смолистые и водные включения. ВМЭ с такой структурой менее эффективна при сжигании в силу неоднородности распада этих образований в камере сгорания [4].

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что вязкость чистого мазута ИФО-380 и мазута с добавлением ВРГ практически одинакова. С повышением концентрации ВРГ в ВМЭ уменьшилось содержание серы и ванадия. При сжигании ВМЭ с ВРГ можно прогнозировать существенное уменьшение выбросов SO<sub>2</sub>. Кроме снижения выбросов вредных веществ, при уменьшении содержания серы и ванадия в топливе, уменьшается его коррозионная активность. Добавление в эмульгируемую воду недорогих компонентов в небольшом количестве позволяет наиболее простым путем связывать серу и использовать низкокачественные судовые мазуты. Уменьшение параметра коксуемости ВМЭ, при увеличении концентрации ВРГ, позволяет предполагать, что при работе на ВМЭ уменьшится образование нагара, меньше будут закоксовываться форсунки топливной аппаратуры.

## **Литература**

- [1] Гридин С.В., Хохлова А.Л. Оценка эколого-экономического эффекта от использования в качестве топлива водомазутной эмульсии, приготовленной из мазутосодержащих отходов // Пром. теплотехника. 2010, Т. 32, №3. – С. 59-63.
- [2] Курников А. С., Панов В. С. Повышение показателей качества водотопливных эмульсий // Журнал Университета водных коммуникаций. 2011, вып. 4. – С. 30-33.
- [3] Пигарев Е.С. Улучшение характеристик водомазутной эмульсии для судовых двигателей / Е.С. Пигарев, М.А. Промтов, Ю.Н. Киташов, С.Е. Пигарев // Технология нефти и газа. 2014. №4. – С. 25-28.
- [4] Поверхностно-активные свойства гуминовых и сульфохлоргуминовых кислот / И.Н. Рябова, Г.А. Мустафина, З.Г. Акулова // Коллоидный журнал. 2009, Том 71, № 5. - С. 716–718.

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ АППАРАТОВ ТЕПЛО-МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Галимуллин Р.Р., Сабанаев И.А.

*Нижекамский химико-технологический институт (филиал КНИТУ).*

*E-mail: v44444444@gmail.com*

Безопасность и надежность химических и нефтехимических производств во многом зависит от материалов, из которых изготовлено оборудование. Таким образом, важно уметь правильно определять их свойства и, в первую очередь, механические свойства. Для решения этой задачи принято проводить специальные испытания. Наиболее распространенным испытанием является растяжение стандартного образца до полного разрыва. Для проведения опыта применяют специальные разрывные машины, которые способны развивать значительные растягивающие усилия. Машины оборудуются измерительными механизмами для определения основных параметров процесса: растягивающего усилия и удлинения. Привод машины – либо электромеханический, либо гидравлический; способ регистрации результатов измерения, как правило, – механический. Определение растягивающего усилия производится с помощью механической системы на основе рычага и тягово-маятникового комплекса. Регистрация удлинения образца выполняется с помощью нити, которая соединяется с нижним, подвижным захватом машины, и через систему роликов – с грузом, который обеспечивает постоянное натяжение. Все это оборудование обеспечивает невысокую точность измерения и требует в последующем выполнения трудоемкого процесса обработки полученных результатов.

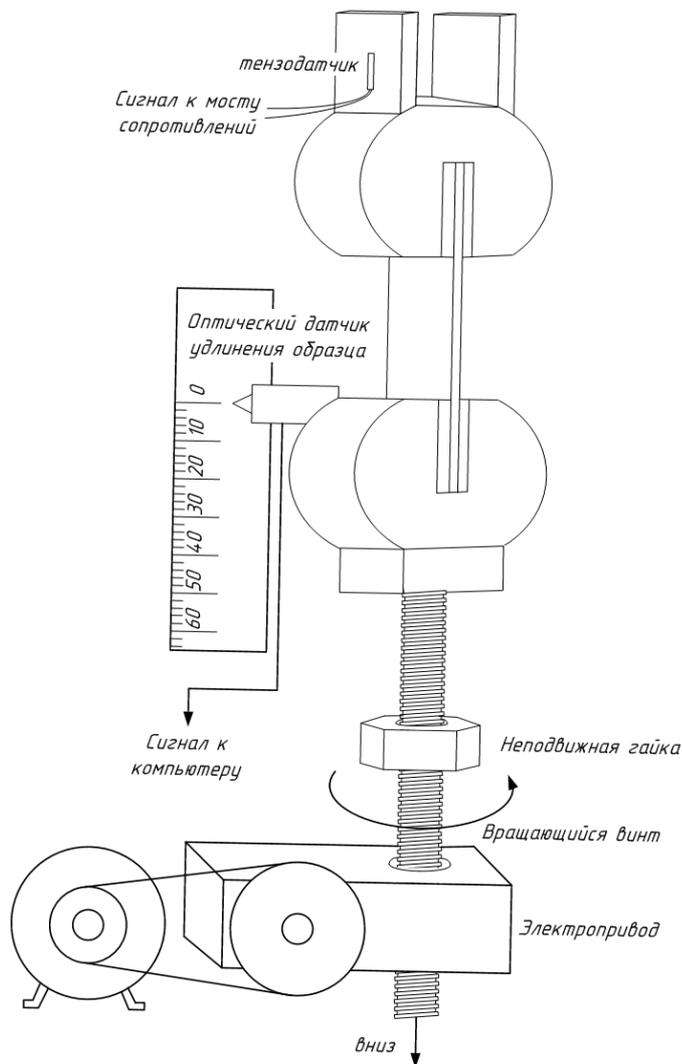
Современные испытательные машины имеют электронную измерительную систему, которая более удобна, компактна и точна. Измерительные комплексы испытательных машин все больше объединяют с вычислительными системами на базе компьютеров. Это позволяет автоматизировать процесс окончательной обработки результатов измерений и подготовку итоговой технической документации.

Однако, в исследовательских лабораториях до сих пор надежно работают испытательные машины, произведенные ранее и использующие механический принцип измерения. Эти машины могут легко модернизироваться, т.к. основу модернизации составляет замена механической измерительной системы на электронную. Наиболее дорогостоящая часть испытательного стенда – электромеханический привод остается без изменений. Если разрывную машину использовать только для растяжения образца, то измерительную часть процесса можно поручить электронике и вычислительной технике. Тогда результирующая диаграмма строится на экране монитора и распечатывается на принтере. Исключается ошибка, возникающая при ручной обработке диаграммы, а результаты пригодны для дальнейшей программной обработки.

Измерительная система испытательной машины включает в себя две составляющие: измерение растягивающего усилия и удлинения образца. Измерение растягивающего усилия основано на применении тензометрических датчиков. Тензодатчик наклеивается на крепежный стержень верхнего захвата так, как показано на рис. 1.

Для автоматизации процесса измерения растягивающего усилия в качестве вторичного прибора к тензодатчику подключается электронный измеритель деформаций типа ИДЭ 2/04 производства научно-технического центра «Владис». Он позволяет передавать результаты измерения деформаций в уже оцифрованном виде, а значит и растягивающего усилия в персональный компьютер для дальнейшей обработки. Этот

прибор предназначен для измерения как статических, так и динамических величин. Блок-схема измерителя показана на рис. 2. Прибор включает в себя 5 основных блоков: блок питания тензодатчиков, операционный усилитель, цифроаналоговый преобразователь, аналого-цифровой преобразователь, контроллер. Тензорезисторы можно подключать по мостовой или полумостовой схеме.



**Рис. 1.** Схема привода испытательной машины и установки датчиков

Сигнал разбаланса с моста сопротивлений подается на вход операционного усилителя. Усилитель прибора обладает достаточно высокими характеристиками и позволяет получить коэффициент усиления от 90 до 500. Усиленный аналоговый сигнал подводится к четырнадцатиразрядному аналого-цифровому преобразователю, который формирует цифровой сигнал для ввода в компьютер. Ему придается стандартный формат для передачи по универсальной последовательной шине USB. Обратная связь по усилению обеспечивается с помощью цифро-аналогового преобразователя, соединенного с отрицательным входом операционного усилителя.

При включении машины ее привод, состоящий из электродвигателя и редуктора, снижающего скорость вращения, приводит во вращение винт. Винт вращается по резьбе внутри неподвижной гайки. Верхний конец винта шарнирно соединен с нижним захватом. В результате такого соединения нижний захват медленно перемещает-

ся вниз вместе с винтом. Удлинение образца, очевидно, равно перемещению нижнего захвата. К нижнему захвату прикреплен датчик перемещения. Он использует оптический принцип измерения. При движении датчика вниз вместе с захватом, он скользит вдоль поверхности специальной линейки. Ее шероховатая поверхность позволяет оптическому датчику фиксировать перемещение. Сигнал с датчика непрерывно подается во входную цепь компьютера. Компьютерная программа считывает сигнал с соответствующего порта и синхронизирует его с сигналом, поступающим с датчика, определяющего растягивающее усилие.

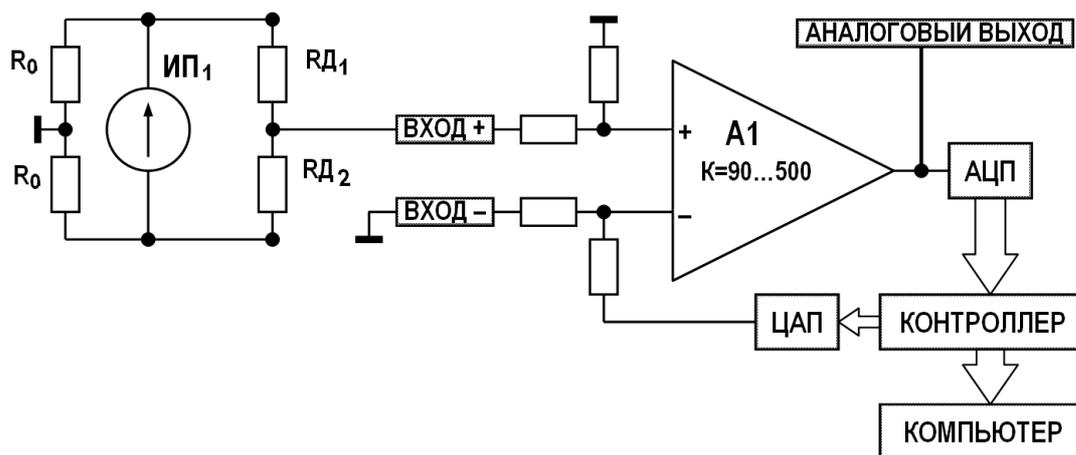


Рис. 2. Блок-схема электронного измерительного комплекса

Таким образом, модернизировав механический измерительный блок испытательной машины, можно значительно повысить эффективность определения механических характеристик материалов в химической и нефтехимической промышленности. При этом, особо можно отметить тот факт, что модернизация не предполагает существенных финансовых затрат, т.к. наиболее дорогостоящая часть оборудования остается без изменений.

## ТРИБОДИАГНОСТИКА КАК СРЕДСТВО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ МАШИН И АППАРАТОВ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Тимеров Р.А., Зайнутдинов Р.И., Алмакаева Ф.М.

Нижнекамский химико-технологический институт (филиал КНИТУ).

E-mail: [nhti\\_knitu@gmail.com](mailto:nhti_knitu@gmail.com)

Обеспечение высокой эффективности работы нефтегазохимического и строительного комплекса, даже при полном обновлении составляющих производства, невозможно без технологии контроля и мониторинга технического состояния оборудования и агрегатов. Техническое обслуживание и ремонт агрегатов направлены на восстановление первоначальной структуры сборочных единиц. Изменение диагностических параметров в редком случае можно измерить без разборки сборочных единиц. В общей практике диагностирования оборудования известны, и получили распространение различные методы определения их технического состояния в зависимости от

диагностических признаков [1]. К примеру, в качестве диагностических признаков износа используются температура подшипников, давление масла, уровень вибрации компрессора, мощность приводного двигателя экскаватора, полный КПД гидравлического привода и др. В связи с этим остро назрела необходимость решения задач диагностирования и осуществления дифференцированного технического обслуживания машин.

Структурные и диагностические параметры износа могут иметь номинальное, допустимое и предельное значения. Номинальное значение соответствует состоянию капитально отремонтированного агрегата, допустимое – состоянию механизма, при котором его эксплуатация допустима без восстановления до следующего контроля, предельное – состоянию механизма, при котором дальнейшая эксплуатация недопустима [2].

Одним из эффективных методов диагностирования состояния трущихся поверхностей является трибодиагностика. Рассмотрим трибодиагностику как средство контроля состояния узлов трения.

Долговечность узлов трения механических систем зависит не только от характера нагрузок, но и от количества абразивных частиц в сопряжениях. Загрязнение рабочей жидкости является одной из причин снижения работоспособности элементов машин. Одним из лабораторных методов трибодиагностики является спектральный анализ продуктов износа в смазочном масле. Посредством анализа проб масла определяется концентрация в нем того или иного составляющего элемента материала трибосопряжения. По этой величине оценивается осредненный износ соответствующей детали: если это предельная концентрация, то узел или ходовое устройство ставится на особый контроль, если предельно-допустимая концентрация - узел снимается с эксплуатации. Недостатком этого метода является определение суммарного износа деталей, изготовленных из одних и тех же конструкционных материалов. В результате имеют место случаи необоснованного съема узла трения или, наоборот, пропуска неисправности. В идеале замену масла необходимо производить по фактическому состоянию на основе результатов физико-химического, спектрального и трибологического анализа.

В настоящее время разработаны методы классификации частиц износа в условиях трения и скольжения, позволяющие комплексно прогнозировать поведение деталей. Наиболее надежным методом исследования изнашивающихся систем является производственный эксперимент. Он позволяет диагностировать состояние сборочных единиц с последующим применением системы эксплуатации по фактическому состоянию. Анализ информации, полученной в результате постановки такого эксперимента, может дать наиболее объективные сведения о системе профилактики. Однако, этот путь не всегда приемлем, так как требует больших затрат времени, что накладывает ограничения на число вариантов, которые можно проверить. Кроме того, отсутствие технических устройств диагностирования износа узлов трения, непосредственно на работающих механизмах (без их остановки и разборки) приводит к преждевременному выходу из строя большого количества сопутствующего оборудования. В этом случае рекомендуются к внедрению встроенные (бортовые) средства диагностирования, которые позволяют оценить трибологические свойства смазочных масел и рабочих жидкостей строительных машин и аппаратов нефтехимической отрасли в режимах входного контроля и эксплуатации, давая необходимую информацию о состоянии объекта диагностирования. Это даст возможность своевременно обнаружить

и предотвратить аварийный износ узлов трения, сэкономить горюче-смазочные материалы, запчасти и, в итоге, сократить затраты на капитальный ремонт.

Таким образом, переход от регламентированных ремонтов узлов трения к ремонтам по конкретному их состоянию с применением трибодиагностики позволит оценить реальное состояние и снизить затраты на ремонт и запчасти. Управление трением с помощью такой диагностики и оптимизация условий эксплуатации помогут продлить продолжительность использования технического парка и снизить вредные экологические воздействия при незначительном увеличении стоимости обслуживания.

### Литература

- [1] Гриб, В.В. Диагностика технического состояния нефтегазохимических производств. - М.: ЦНИИТЭ Нефтехим, 2002.-268с.
- [2] Чичинадзе, А.В., Браун Э.Д., Буше Н.А. и др. Основы трибологии: Учебник для технических ВУЗов. – 2- изд., переработ. и доп. – М.: Машиностроение, 2001.
- [3] Фармазов, С.А., Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов. 2-е изд., перераб. – М.: Химия, 1980. 312с.

## ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО НА СЖАТОМ ВОЗДУХЕ

Выходцев Д.В.

*Омский автобронетанковый инженерный институт. E-mail: otiiu@mil.ru*

Применение пневматической энергии способствует снижению аварий и травматизма на взрывопожароопасных производствах химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности.

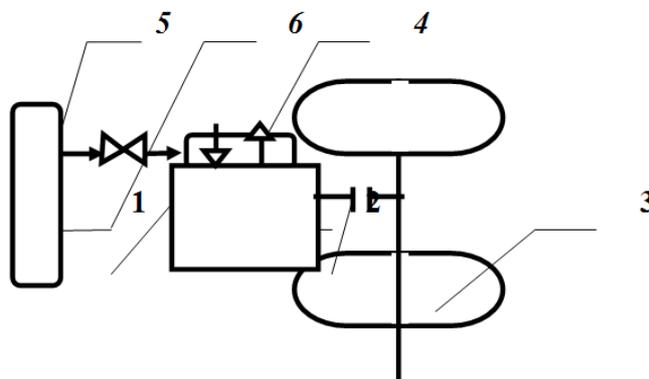
Поршневые двигатели, использующие энергию предварительно сжатых или сжиженных газов, в силовых установках привода транспортных средств в настоящее время выполняют на базе поршневых пневмодвигателей с принудительным золотниковым [1] или клапанным воздухораспределением [2].

Как известно, система принудительного воздухораспределения обладает рядом существенных недостатков: сложностью конструктивного исполнения, повышенным механическим трением, невысокой надежностью, значительным снижением КПД при работе на не расчётных режимах.

Эти недостатки можно исключить путём создания и разработки принципиально новых конструкций поршневых двигателей, отличающихся простотой конструкции, небольшой металлоёмкостью, эффективностью работы, повышенной надёжностью. Перечисленным требованиям отвечают поршневые пневмодвигатели нового типа, в которых сложная принудительная система механизма газораспределения заменена самодействующими клапанами [3].

В [4] показана возможность применения поршневых пневмодвигателей с нормально открытыми самодействующими впускными клапанами и выхлопными окнами в цилиндре конце хода поршня в гибридных силовых установках с ДВС. Во взрывоопасных производствах передвижение транспортных средств (автомобилей, кар, тележек, погрузчиков и т.п.) следует обеспечивать только за счёт пневматической энергии.

На рис. 1 приведена силовая установка с поршневым пневмодвигателем. На рис. 2 - поршневой пневмодвигатель с самодействующими клапанами.



**Рис. 1.** Силовая установка с поршневым пневмодвигателем

Силовая установка, приведённая на рис. 1 включает в себя пневмодвигатель 1, муфту 2, приводные колёса 3, баллон низкого давления 4, баллон высокого давления 5, газовый редуктор 6.

Поршневой пневмодвигатель (рис. 2) содержит цилиндр 7, поршень 8, связанный с кривошипно-шатунным механизмом (на чертеже не показан), в стенках цилиндра выполнены выхлопные окна 9. В крышке цилиндра 10 располагаются нормально открытый впускной 11 и закрытый выпускной 12 клапаны, впускной штуцер 13. Впускной клапан включает в себя ограничитель 14 с возможностью перемещения, например, по резьбе, относительно крышки цилиндра и впускного штуцера, запорный элемент 15, пружину 16. Выпускной нормально закрытый клапан содержит запорный элемент 17 с пружиной 18.

Силовая установка работает следующим образом. Сжатый воздух из баллона высокого давления 5 через газовый редуктор 6, поступает в баллон низкого (рабочего) давления 4 и через впускной штуцер 13 во впускную полость пневмодвигателя (впускной клапан 11 при этом открыт) происходит впуск воздуха в цилиндр через нормально открытый впускной клапан 11. Поршень 8 при этом начинает движение от верхней мёртвой точки к нижней мёртвой точке. При нарастании перепада давлений на запорный элемент 15, пружина 16 сжимается и клапан закрывается. Попавшая в цилиндр, порция газа продолжает оказывать давление на поршень и при его перемещении расширяется с совершением внешней работы. При открытии торцевой поверхностью поршня выхлопных окон 9, происходит выхлоп и выталкивание отработанного воздуха в атмосферу. Открытые поршнем выхлопные окна в продолжение его движения к нижней мёртвой точке способствуют освобождению цилиндра от отработанного воздуха.

При обратном движении поршня к верхней мёртвой точке давление в цилиндре после закрытия поршнем выхлопных окон растёт за счёт сжатия оставшегося воздуха в цилиндре. При превышении давления воздуха в цилиндре над давлением во впускной крышке цилиндра запорные элементы впускного 11 и выпускного 12 клапанов открываются, и при дальнейшем приближении поршня к верхней мёртвой точке происходит выталкивание сжатого при обратном ходе поршня воздуха из цилиндра во впускную крышку через штуцер 13 в баллон низкого давления 4. Затем цикл повторяется.

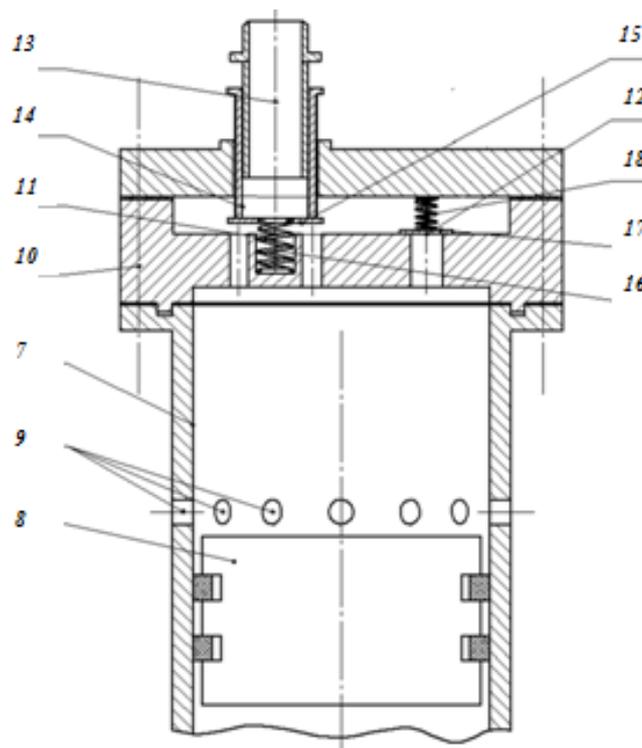


Рис. 2. Поршневой пневмодвигатель с самодействующими клапанами

Для обеспечения эффективной работы пневмодвигателя при колебаниях давления сжатого воздуха на впуске положение запорных элементов впускного 11 клапана относительно крышки 10 цилиндра изменяется перемещением ограничителя подъёма 14.

При торможении, спуске с подъёмов или движении транспортного средства накатом крутящий момент от приводных колёс 3 передаётся через муфту 2 на вал поршневого пневмодвигателя 1, работающего в режиме компрессора. Атмосферный воздух поступает в цилиндр 7 через открытые поршнем выхлопные окна 9. А после закрытия поршнем выхлопных окон при обратном движении поршня к ВМТ, происходит сжатие остаточного воздуха в цилиндре. При превышении давления воздуха в цилиндре над давлением во впускной полости открываются впускной 11 и выпускной 12 клапаны. Сжатый воздух выталкивается во впускную полость и в ресивер 4, обеспечивая тем самым регенерацию рабочего тела и накопление сжатого воздуха в баллоне 4.

С размещением пневмодвигателя в одном корпусе с поршневым компрессором, выполненным с меньшим диаметром цилиндра на одном коленчатом валу, регенерация рабочего тела с накоплением его в баллоне низкого давления будет происходить в штатном режиме при движении транспортного средства. Следует отметить, что регенерация сжатого воздуха для транспортных средств с пневмодвигателями с принудительным газораспределением практически невозможна.

Транспортное средство с пневмоприводом имеет следующие преимущества перед своими дизельными и электрическими аналогами: при серийном изготовлении оно будет дешевле в производстве; запас энергии в баллонах аналогичный запасу энергии в аккумуляторах электропогрузчиков, время зарядки баллонов несколько минут, а время зарядки аккумуляторных батарей – 6-8 часов; пневмопривод практически не чувствителен к изменению температуры окружающего воздуха. При повышении температуры до  $+50^{\circ}\text{C}$  запас энергии увеличивается на 10% и с дальнейшим повыше-

нием температуры окружающей среды запас энергии пневмопривода только возрастает, не оказывая вредного воздействия (как у дизеля, который склонен к перегреву). При снижении температуры до  $-20^{\circ}\text{C}$  запас энергии пневмопривода снижается на 10% без каких-либо других вредных воздействий на его работу, в то время, как запас энергии электрических батарей уменьшится в 2 раза, а дизель на таком холоде может и не завестись. При снижении температуры окружающей среды до  $-50^{\circ}\text{C}$  аккумуляторные батареи и дизеля практически не работают без специальных ухищрений, а пневмопривод лишь теряет около 25% запаса энергии. - такой пневмопривод может обеспечивать гораздо больший тягово-скоростной диапазон работы, чем тяговые электродвигатели электропогрузчиков или гидротрансформаторы дизельных погрузчиков.

Заправка и обслуживание транспортных средств с пневмоприводом сможет производиться от общезаводской системы снабжения сжатым воздухом (на Российских нефтеперерабатывающих предприятиях используются две централизованные системы сжатого воздуха давлением 0,8 и 5,5 МПа).

### **Литература**

- [1] Зиневич В.Д., Гешлин Л.А. Поршневые и шестеренные пневмодвигатели горно-шахтного оборудования. - М.: Недра, 1982. - 199 с.
- [2] Кудрявцев И.Н., Пятак А.И., Бондаренко С.И. и др. Эффективность использования пневмодвигателя в автомобиле // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» АЭЭ № 2(22). -2005.- С.82-88.
- [3] Калекин В.С., Калекин Д.В. Поршневой пневмодвигатель с впускным самодействующим клапаном // Компрессорная техника и пневматика. – 2011. - № 2. – С. 20-25.
- [4] Калекин В.С., Калекин В.В., Калекин Д.В., Выходцев Д.В., Жуковский А.Н. Автомобильные гибриды с поршневыми пневмодвигателями // Сб. научн. тр. Вып. 13. - Омск: ОИВТ (филиал) ФГБОУ ВО «СГУВТ», 2015. - С. 20-26.

## **МЕТОДИКА ПОДГОТОВКИ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОМ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОЙ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ**

Шалфеев В.Д., Булкин В.А.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет.*

*E-mail: mahp\_kstu@mail.ru*

При эксплуатации опасных производственных объектов на предприятиях, в частности высокотемпературные печи пиролиза, где рабочий температурный диапазон в радиантной части составляет  $950-1100^{\circ}\text{C}$ . Часто может иметь место процесс пластической деформации основных металлических частей и деталей змеевиков пиролизных печей, протекающих с различной скоростью. Некоторые детали могут деформироваться в течение ряда лет, другие за относительно короткий период времени с последующим разрушением изделия, не отработав нормативного срока службы змеевика.

Процесс пластической деформации характеризуют скоростью деформации. Когда происходят взрывные процессы скорость деформации достигает при этом от  $10^{-10}$  1/сек до  $10^5$  1/сек, при статических механических испытаниях находится в пределах  $10^{-4} \div 10^{-2}$  1/сек. Как правило, динамические испытания проводятся со скоростью деформации порядка  $10^2$  1/сек, поэтому скорость деформации при динамических испы-

таниях больше, чем при статических примерно в  $10^5$  раз. Когда меняются скорости деформации, изменяется и поведение дефектов кристаллической решетки: затрудняется их относительное перемещение, так как увеличивается их количество. В результате этого, по сравнению со статическими испытаниями, при динамических испытаниях изменяются механические свойства. Это изменение характеризуется тем, что характеристики пластичности уменьшаются при динамическом нагружении, а прочностные характеристики увеличиваются.

Измерение характеристик прочности при динамических испытаниях очень затруднительно, так как большая скорость процессов деформации и разрушения находятся в пределах долей секунды. Для того чтобы зафиксировать нагрузки, деформации в процессе испытаний, необходимо использовать малоинерционные высокочувствительные приборы, отвечающие всем требованиям.

Массовые динамические испытания проводятся методом ударного изгиба на образце с надрезом. Эти испытания проводят на маятниковых копрах. По результатам этих испытаний можем определить ударную вязкость ( $a_n$ ), которая является характеристикой сопротивления материала воздействию динамических нагрузок. Ударная вязкость - это отношение работы, затраченной на деформацию и разрушение образца при ударном изгибе ( $A_n$ ) к площади поперечного сечения образца в месте надреза ( $F$ ), которая равна:

$$a_n = A_n / F.$$

Ударная вязкость - сложная механическая характеристика. Величина вязкости зависит и от прочности, и от пластичности испытываемого материала. Чем больше напряжения и чем больше пластичность на процессе испытаний, тем большая работа затрачивается на пластическую деформацию и разрушения на протяжении всего испытания, то есть тем больше ударная вязкость. Именно поэтому испытания на ударную вязкость как правило более чувствительны к изменению факторов, которые влияют на пластичность и прочность: форма зерен, химический состав, дисперсность структуры, чем статические испытания, при которых отдельно оцениваются характеристики пластичности и прочности.

Так как работа, которая была затрачена при испытаниях на ударную вязкость, идет на пластическую деформацию какой-то определенной части объема образца, то необходимо относить ее именно к этому объему, а не к площади поперечного сечения образца. Но измерить объем деформированной части образца затруднительно, тем более что работа, затрачиваемая на пластическую деформацию, распределяется по этому объему неравномерно. Работу, затраченную на пластическую деформацию и разрушение, относят к площади поперечного сечения образца.

Динамические испытания выявляют склонности металла к хрупкому разрушению, для динамических испытаний самыми подходящими являются жесткие способы нагружения, при которых достаточно велики максимальные нормальные напряжения, определяющие разрушения путем отрыва. Достаточно редко применяются мягкие способы нагружения, для динамических испытаний. Самое большое распространение получили динамические испытания на изгиб, так как данные испытания просты, надежны и позволяют определять работу деформации и разрушения.

Для того чтобы сделать напряженное состояние для динамических испытаний на изгиб более жестким, применяют образцы с надрезом. Применение таких образцов существенно уменьшает энергию необходимую для их разрушения, что в данном случае позволяет уменьшить размеры копра. Согласно ГОСТ 9454-60, при испытаниях на

ударную вязкость, применяют несколько типов образцов (рисунок). Тип I, с концентратором вида V считается основным.

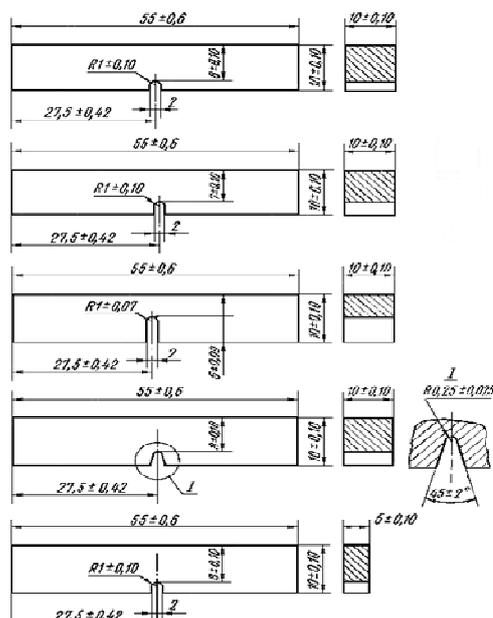


Рисунок. Типы образцов для испытания на ударную вязкость

При испытании на ударную вязкость нельзя пересчитывать и сравнивать результаты определения ударной вязкости на образцах разной формы и разных размеров. Необходимо, чтобы эти образцы имели шлифованную поверхность до зеркального блеска, на них не должно быть заусенцев и трещин. На поверхности надреза не должно быть рисунков, царапин и прочих дефектов, потому что они могут исказить результаты испытаний, так как именно дно надреза может привести к началу образования трещины, увеличение которой приводит к разрушению образца.

Для испытаний на ударную вязкость наибольшее распространение получили маятниковые копры. Самой основной частью копра является массивные маятник, который качается на оси. Этот маятник обладает определенным запасом энергии, в зависимости от высоты подъема. При падении маятник ударяет по образцу и разрушает его, при этом затрачивается часть энергии маятника, а уже при подъеме маятника затрачивается оставшаяся часть энергии. В момент удара по образцу, скорость движения маятника должна не превышать 4-7 м/сек, что соответствует скорости деформации стандартных образцов порядка  $10^2$  1/сек. Можно подсчитать работу, затраченную на разрушение образца, зная высоту подъема маятника до и после удара и его вес. Для этого к маятнику прикрепляется поводок, который при подъеме маятника в исходное положения, устанавливает подвижную рамку со шкалой в определенном положении, с запасенной маятником энергией. После удара маятник, поднимаясь, тем же поводком перемещает вдоль шкалы стрелку до уровня, соответствующего высоте подъема маятника, его энергии после удара. Соответственно можем определить разницу энергий маятника до и после удара, работу, затраченную на пластическую деформацию и разрушение образца. Чтобы вычислить ударную вязкость, необходимо затраченную при испытании работу разделить на площадь поперечного сечения образца.

В дальнейшем после испытания отбирается обломки образцов для исследования и фотографирования поверхности излома. Подготовка поверхности образцов под фотографирование, это изготовление металлографические микрошлифы. Процесс под-

готовки микрошлифов заключается в многократном шлифовании и полировании образцов с последующим травлением в 5% растворе азотной кислоты в этиловом спирте. Цифровым фотоаппаратом с помощью микроскопа при увеличении  $\times 100$ ,  $\times 200$ ,  $\times 400$  раз, фотографируются структура микрошлифа. Полученные изображения анализируются программой MFRDrom. По обработанным программой результатам устанавливаем взаимосвязи мультифрактальных параметров изображений структуры металла с его механическими свойствами. В ряде статей появлялись подобные методы и рекомендации по подготовке изображений структур и их особенностям, и механическим свойствам, методические подходы к обработке полученных результатов. [5, 6].

Проведения данных испытаний с последующей обработкой результатов программой MFRDrom, позволяют устанавливать взаимосвязь мультифрактальных параметров с механическими свойствами змеевиков пиролизных печей. Наиболее подверженные деформации участки и детали позволяет прогнозировать и выявлять.

### Литература

- [1] Федеральный закон от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ О промышленной безопасности опасных производственных объектов.
- [2] Приказ министерства природных ресурсов и экологии РФ №195 от 30.06.2009 г.
- [3] Методика оценки остаточного ресурса трубчатых печей нефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических производств Минтопэнерго РФ, 1998г., Госгортехнадзор РФ, (письмо № 11-11/19 от 22.01.99 г.)
- [4] СТО-СА-03-004-2009 Трубчатые печи, резервуары, сосуды и аппараты нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств. Требования к техническому надзору, ревизии и отбраковки.
- [5] Сильвестров А. С. Перспективные пути совершенствования современных методов диагностики магистральных трубопроводов /А.С. Сильвестров, А. Д. Анваров, В. А. Булкин // Вестник Казанского технологического университета. – 2010, №9, с. 404.
- [6] Анваров А.Д. Возможность идентификации механических свойств металла оборудования химических производств при экспертизе промышленной безопасности на базе метода мультифрактальной параметризации /А.Д. Анваров, А.С. Маминов, В.А. Булкин, Г.В. Встовский /Вестник Казанского государственного технологического университета. – 2006, №1, с. 77- 82.
- [7] ГОСТ 9454-78. Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах.

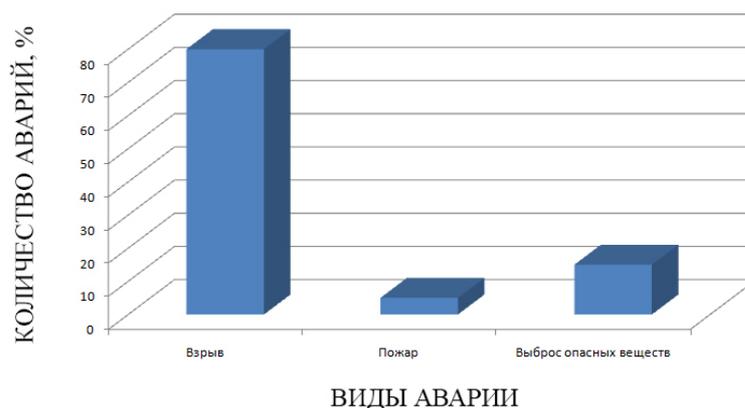
## АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Бурьлина Т.А., Торопова М.В.

*Ивановский государственный политехнический университет. E-mail: buuur96@mail.ru*

Нефтехимическая промышленность России является одной из важнейших отраслей в национальной экономике, способствующей развитию других отраслей и создающей основу экономического могущества страны. Вместе с тем, подобные объекты являются очень опасными, так как нефть и продукты их переработки при определённых условиях могут гореть, взрываться, поражать объекты, их персонал, загрязнять окружающую среду. Поэтому необходимо самым внимательным образом относиться





**Рисунок.** Распределение по видам аварий на объектах нефтехимической, нефтеперерабатывающей промышленности и объектах нефтепродуктообеспечения

Причины опасных событий на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности можно подразделить на организационные и технические. Анализ результатов расследования технических причин происшедших опасных событий показал, что основными факторами возникновения и развития этих событий являются неудовлетворительное состояние технических устройств, зданий и сооружений, а также несовершенство технологий или конструктивные недостатки [2].

Более 70% опасных событий и несчастных случаев происходит по организационным причинам, так или иначе связанным с ошибками человека – оператора и влиянием человеческого фактора. К организационным причинам относятся:

- нарушение технологии производства работ;
- неправильная организация производства работ;
- неэффективность производственного контроля;
- умышленное отключение средств защиты, сигнализации или связи;
- низкий уровень знаний требований промышленной безопасности;
- нарушение производственной дисциплины;
- неосторожные (несанкционированные) действия исполнителей работ.

Крупные аварии и сопровождающие их пожары и взрывы на нефтеперерабатывающих производствах в большинстве случаев происходят из-за утечек горючей жидкости или углеводородного газа, возникающих в основном по следующим причинам: нарушение правил техники безопасности и пожарной безопасности (33%); некачественный монтаж и ремонт оборудования (22%); некачественная молниезащита (13%); нарушение правил технологического регламента (11%); износ оборудования (8%); недостаточно качественные сальниковые уплотнения и фланцевые соединения (11%); прочие (2%).

Причинами аварий стали как нарушения при эксплуатации опасных объектов, так и нарушения при проведении пуско-наладочных работ, работ по остановке производства, ремонтных работ, в том числе связанных с выполнением огневых, газоопасных, монтажных и электромонтажных работ. Так, например, из-за разрушения оборудования 15.12.2011 произошла крупная авария в ООО «Ставролен» на узле разделения пропан-пропиленовой фракции производства пиролиза углеводородов нефти, очистки, компримирования, разделения пирогаза цеха №2. При ведении технологического произошел взрыв с последующим пожаром. Площадь возгорания составила около 1000 м<sup>2</sup>. Производственный персонал был эвакуирован, а завод остановлен в

аварийном режиме. Термическому воздействию было подвержено 67 единиц емкостного оборудования, 16 насосов и около 10 тыс. метров погонных трубопроводов. Ущерб от аварии составил 811 570 тыс. руб.

Вопросы промышленной безопасности и автоматизации систем противопожарной защиты потенциально опасных технологических процессов нефтепереработки являются весьма актуальными и в настоящее время приобретают особое значение. Всевозрастающее количество опасных объектов и производств нефтехимической промышленности возводит проблему безопасности в ранг главных приоритетов для любого собственника, и как следствие – возрастание интереса к современным системам интегральной безопасности таких объектов. Каждая организация, эксплуатирующая потенциально опасный производственный объект обязана проводить комплекс своевременных мероприятий по выполнению требований для того, чтобы условия безопасности соответствовали всем законодательным нормам, принятым на территории Российской Федерации.

### **Литература**

- [1] Отчёты о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (годовые). [http://www.gosnadzor.ru/osnovnaya\\_deyatelnost\\_slujby/otcheti-o-deyatelnosti-sluzhbi-godovie](http://www.gosnadzor.ru/osnovnaya_deyatelnost_slujby/otcheti-o-deyatelnosti-sluzhbi-godovie)
- [2] Шимко В. Ю. Новые средства обеспечения пожаровзрывобезопасности в нефтегазовой отрасли // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности» (<http://ipb.mos.ru/ttb>). Выпуск № 1 (59), 2015 г.

## **АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ЗАВЕС В КАЧЕСТВЕ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ПРИ ЗАЛПОВЫХ ВЫБРОСАХ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ**

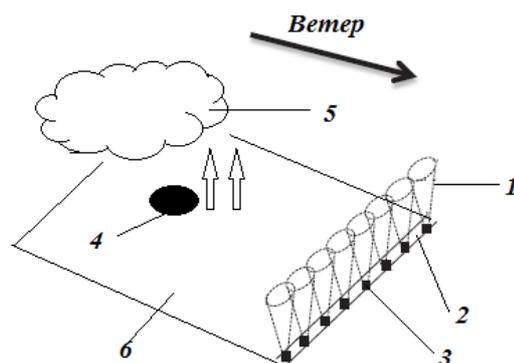
Насибуллин Р.Р., Галеев А.Д., Поникаров С.И.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет.*

*E-mail: rail90ongp@yandex.ru*

Несмотря на значительные успехи в повышении промышленной безопасности, достигнутые посредством более совершенного проектирования, взаимного размещения и эксплуатации промышленных объектов, до сих пор вызывают большую опасность аварийные выбросы токсичных и пожаровзрывоопасных веществ, производимых или используемых на этих объектах. Обзор происшествий в промышленности с участием опасных веществ, явившихся причиной серьезных аварий, показал, что в период времени с 1970 по 2007 годы произошло 6004 несчастных случая выброса паров и газов, из которых 670 – выбросы хлора. Среди них 67 происшествий со смертельными исходами, 439 повлекли за собой различные увечья. Хлор является крайне опасным веществом. Помимо того, что он токсичен, этот газ тяжелее воздуха, поэтому распространяется в приземной зоне атмосферы, поражая все живое вокруг.

Одним из средств, снижающих негативные последствия выброса и испарения сжиженных токсичных и пожаровзрывоопасных газов в атмосферу, является установка на пути их распространения специальных устройств, создающих завесы различных типов [1]. Схематически защитная завеса изображена на рис. 1.



**Рис. 1.** Схематическое изображение защитной завесы, действующей в случае пролива опасного вещества

Завеса 1 - это ряд пересекающихся восходящих потоков вещества (капли жидкости, водяной пар, горячий воздух, пламя и горячий воздух), выходящих наружу из отверстий или других технологических проемов 3, установленных на трубопроводе 2, транспортирующем вещества завесы или на устройствах, генерирующих данный поток непосредственно (воздуходувные машины). Облако опасного вещества, образуемое посредством разгерметизации ёмкости и последующего испарения пролива 4, перемещается по направлению ветра и задерживается завесой, подвергаясь интенсивному рассеянию в окружающей среде.

Меньше всего известно о так называемых тепловых завесах, формируемых потоками нагретых веществ. Поэтому в настоящем докладе проведен анализ тепловых газоздушных завес, потоки которых представляют собой восходящий горячий воздух. Механизм защиты газоздушной завесы состоит из комплексного воздействия нескольких факторов [2]:

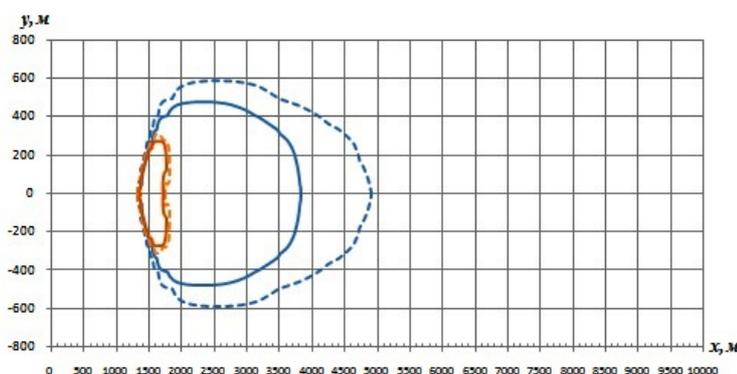
- теплый воздух, нагнетаемый снизу в верх, нагревает холодное и тяжелое облако опасного вещества, понижая его плотность и усиливая способность к смешению с воздухом;
- восходящий поток воздуха поднимает кверху опасное вещество, освобождая приземное пространство от его присутствия;
- наконец, обладая высокими параметрами турбулентности, воздушный напор интенсивно смешивает токсичную примесь с окружающим воздухом, понижая концентрацию опасного вещества до безопасных пределов.

В данном докладе рассмотрено два типа тепловых газоздушных завес. Первый тип – это завесы, формируемые при помощи пламени сжигаемого метана [3, 4], где под номерами 2 и 1 рис. 1 выступают газопровод и вырывающиеся наружу струи пламени горящего метана. Под вторым типом предполагаются завесы, создаваемые при помощи электроприводных воздуходувных машин, где поток воздуха одновременно нагревается электрическим нагревательным элементом и нагнетается механическим способом вверх, причем эти генерирующие поток машины выстраиваются в ряд и создаётся, таким образом, необходимая длина защитной завесы, располагаемой поперек к направлению перемещения опасного облака [5, 6 мех]. С целью оценки эффективности данных защитных устройств были численно смоделированы две аварийные ситуации высвобождения хлора.

В первом случае, с целью исследования эффективности огневой завесы, был рассмотрен случай залпового выброса 60 т сжиженного хлора. Размеры моделируемого пространства составляли 10000×1600×500 м. Завеса, в виде перфорированного трубопровода длиной 200 м, расположен на расстоянии 1500 м от места пролива. Давление в газопроводе составляло 0,3 МПа, длительность испарения хлора в окружающую среду – 1800 с. Все исходные данные и результаты оценки эффективности решаемой задачи подробно изложены в работе [4]. Для наглядности покажем результат численного решения случая, когда скорость ветра составляла 1 м/с. Рис. 2 показывает профили изолиний токсодоз хлора на уровне земной поверхности, вычисляемой по формуле [7]:

$$D(x, y, z) = \int_0^{t_{\text{эксп}}} Y(x, y, z, t) \rho \Delta t = \sum_{i=1}^n Y(x, y, z, t) \rho \Delta t$$

где  $D$  – токсодоза, мг·мин/л;  $t_{\text{эксп}}$  – время экспозиции;  $\Delta t$  – шаг по времени;  $Y$  – концентрация примеси. Для хлора значения летальной и пороговой токсодоз равны  $S_{LCt} = 6$  и  $S_{PCt} = 0,6$  мг·мин/л [7].



**Рис. 2.** [4] - Профили летального (сплошная линия) и порогового (штриховая линия) значений токсодоз паров хлора в отсутствие огневой завесы (синий профиль) и при включенной огневой завесе (оранжевый профиль) при скорости ветра в 1 м/с на земной поверхности

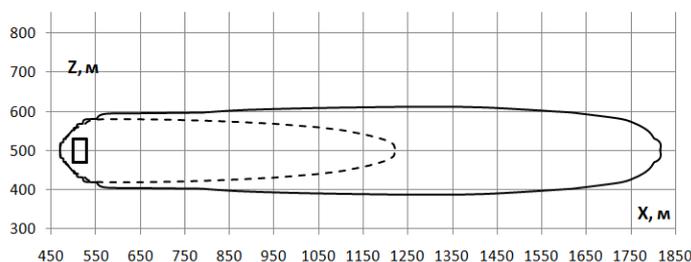
Для количественной оценки эффективности действия огневой завесы в таблице приведены значения площадей зон токсического поражения  $S_{LCt}$  и  $S_{PCt}$ , соответствующие летальной и пороговой токсодозам на земной поверхности [4].

**Таблица.** Площади зон поражения хлором (время экспозиции 1800 с)

Вид зоны токсического поражения	Условие распространения примеси		Степень снижения зоны поражения, %
	Без завесы	С включенной завесой	
$S_{LCt}$ , м <sup>2</sup>	953922	85938	91
$S_{PCt}$ , м <sup>2</sup>	1612575	107641	93

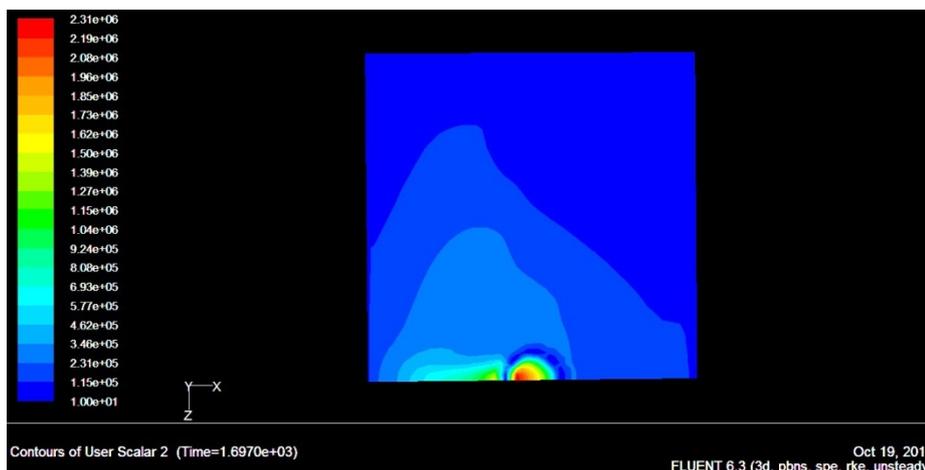
С целью оценки эффективности второго типа тепловых завес - газозащитной механической завесы была смоделирована аварийная ситуация залпового выброса одной тонны хлора. Завеса выполнена в виде прямоугольника сторонами 30м×60м (см. рис. 3), в центре которого расположен пролив хлора. Все исходные данные моделируемой задачи, а также результаты расчетов представлены в работе [6]. Результаты

численного анализа залпового выброса сжиженного хлора, свободно распространяющегося на открытой местности, показана на рис. 3.



**Рис. 3.** [6] Изолинии порогового (сплошная линия) и летального (штриховая линия) токсодоз на земной поверхности исследуемой площадки в условиях отсутствия защитной завесы. Прямоугольник изображает местоположение периметра защитной завесы

На рис. 4 приводятся результаты оценки эффективности газовоздушной завесы по сокращению площади заражения хлором, а именно изображено распределение токсодозы.



**Рис. 4.** Распределение токсодозы на исследуемой площадке

На рис. 4 видно, что значение токсодозы за пределами периметра защитной завесы равна нулю, то есть завеса не пропускает хлор дальше своих границ. Это свидетельствует о хорошей защите устройства от негативного влияния опасного вещества.

### Литература

- [1] Р.Р. Насибуллин, А.Д. Галеев, С.И. Поникаров, Вестник Казан. технол. ун -та, **16**, 4, 221-213, (2013).
- [2] Р.Р. Насибуллин, А.Д. Галеев, С.И. Поникаров, Вестник Казан. технол. ун -та, **17**, 20, 180-182, (2014).
- [3] Р.Р. Насибуллин, А.Д. Галеев, С.И. Поникаров, Вестник Казан. технол. ун -та, **17**, 10, 140-143, (2014).
- [4] Р.Р. Насибуллин, А.Д. Галеев, С.И. Поникаров, Безопасность труда в промышленности, **1**, 28-42, (2015).
- [5] Р.Р. Насибуллин, А.Д. Галеев, С.И. Поникаров, Вестник Казан. технол. ун -та, **17**, 19, 215-218, (2014).

- [6] Р.Р. Насибуллин, А.Д. Галеев, С.И. Поникаров, Вестник Казан. технол. ун -та, **18**, 18, 221-224, (2015).
- [7] РД-03-26-2007. Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ (утв. Приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14 декабря 2007 г. №859).

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ЭКСТРУЗИИ ПОЛИМЕРОВ**

Алексеев Е.И., Хайруллин Р.З.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет.*

*E-mail: evg.alekseev@mail.ru*

Экструзия – процесс переработки полимерных материалов непрерывным продавливанием их расплава через формующую головку, геометрическая форма выходного канала которой определяет профиль получаемого изделия или полуфабриката.

Непрерывность производства и высокая производительность делают экструзию одним из основных способов переработки целого ряда крупнотоннажных полимеров. Однако, несмотря на все достоинства и относительную простоту процесса экструзии, его реализация на предприятиях требует тщательного и неукоснительного соблюдения всех мер безопасности.

Процесс получения изделий методом экструзии чаще всего связан с повышенными температурами, так как полимер перерабатывается в расплаве, поэтому необходимо наличие и правильное использование средств индивидуальной и коллективной защиты от избыточного тепла, выделяемого оборудованием.

Кроме того, при высоких температурах в перерабатываемых полимерных материалах могут протекать процессы деструкции с выделением разнообразных газообразных продуктов, которые могут привести как к потере качества выпускаемой продукции, так и к острым отравлениям персонала, обслуживающего данное оборудование, поэтому возникает необходимость в использовании персоналом средств индивидуальной защиты органов дыхания совместно с системой приточно-вытяжной вентиляции предприятия.

Крайне важным для обеспечения безопасности ведения процесса является строгое соблюдение норм технологического регламента, а также соблюдение последовательности включения систем экструзионного оборудования. Перед пуском экструзионной линии необходимо удостовериться в том, что водные, электрические и воздушные системы работают в штатном режиме, входные и выпускные отверстия в водной системе не забиты, электродвигатель, двигатель вентилятора имеют правильное направление вращения, иначе возможен перегрев оборудования и выход его из строя.

Кроме того, сырье не должно содержать металлических частиц, гравия, и других твердых материалов, способных повредить оборудование.

В соответствии с графиком планово-предупредительного ремонта предприятием должен регулярно проводиться текущий и капитальный ремонт систем экструзионной линии, что в конечном итоге является гарантом безопасного и безаварийного ведения процесса экструзии.

Таким образом, на основании вышесказанного можно сделать вывод о том, что реализация любой технологии может быть безопасна только при неукоснительном соблюдении требований безопасности, предъявляемых как к ведению процесса, так и технологическому оборудованию, на котором реализуется данный процесс.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОЦЕССА РОЗЛИВА НА «КАЗАНСКОМ ЛИКЕРОВОДОЧНОМ ЗАВОДЕ» ОАО «ТАТСПИРТПРОМ»

Князьков Н.А., Хайруллин Р.З.

Казанский национальный исследовательский технологический университет.

E-mail: nikita-tosya@yandex.ru

Филиал ОАО «Татспиртпром» «Казанский ликероводочный завод» был открыт в 1975 году и на сегодняшний день производит более 2 млн. дал водки и ликероводочных изделий в год. Предприятие предназначено для приема, временного хранения спирта, а также приготовления водки, ликеров, бальзамов и других водноспиртовых растворов, их дозирования, смешения, отпуска готового продукта на склад в таре.

Рассмотрим потенциальные опасности, которые могут возникнуть на стадии розлива. Данные о количестве опасного вещества, способного принять участие в возможной аварийной ситуации и в создании поражающих факторов, приведены в табл. 1-3.

**Табл. 1.** Количество опасного вещества, способного принять участие в возможной аварийной ситуации и в создании поражающих факторов

Сценарий	Последствия	Основной поражающий фактор	Количество опасного вещества	
			участвующего в аварии, т	участвующего в создании поражающих факторов, т
С-3 <sub>4</sub> *	объемный взрыв	ударная волна	0,144 (пары этанола)	0,144 (пары этанола)
С-22 <sub>4</sub>	пожар пролива	тепловое излучение	0,17 (этанол)	0,17 (этанол)

\*Обозначение: С-3<sub>4</sub> – С-3-номер сценария, 4-блок.

**Табл. 2.** Описание сценария

Сценарий	Описание сценария
С-3 <sub>4</sub>	Полное разрушение технологического оборудования, выброс этилового спирта, образование зоны пролива, испарение, объемный взрыв с последующим пожаром пролива
С-22 <sub>4</sub>	Частичная разгерметизация технологического оборудования или трубопроводов, выброс этилового спирта, образование зоны пролива, пожар пролива

Согласно расчетам, наиболее тяжелой по своим последствиям аварией является полное разрушение технологического оборудования, выброс этилового спирта, образование зоны пролива, испарение, объемный взрыв с последующим пожаром пролива, а наиболее вероятной – частичная разгерметизация технологического оборудования или трубопроводов, выброс этилового спирта, образование зоны пролива, пожар пролива

**Четвертая Всероссийская студенческая научно-техническая конференция  
“Интенсификация тепло-массообменных процессов, промышленная безопасность и экология”**

Была оценена вероятность возникновения наиболее вероятного и наиболее опасного по своим последствиям сценариев аварийных ситуаций. Наиболее опасной по своим последствиям может стать авария, возникновение и развитие которой, будут протекать по сценарию С-2<sub>4</sub>. Наиболее вероятной аварией на описываемом объекте представляется по сценарию С-22<sub>4</sub>.

**Сценарий № С-3<sub>4</sub>  
Взрыв**

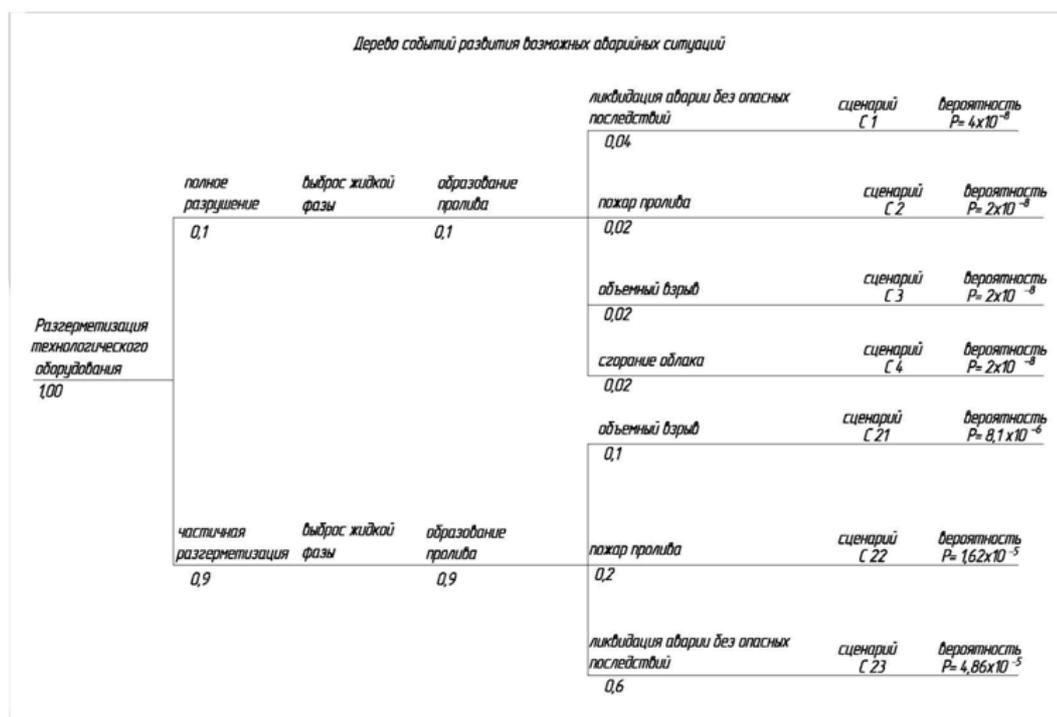
Уровни поражения ударной волной, м	15
Полное или частичное разрушение зданий и сооружений, м	11
Обрушение отдельных элементов зданий, поражение персонала, м	12
Повреждение оконных, дверных проемов, травмирование персонала, м	14
Избыточное давление ΔP=41,3 кПа	

**Сценарий С-22<sub>4</sub>  
Пожар пролива**

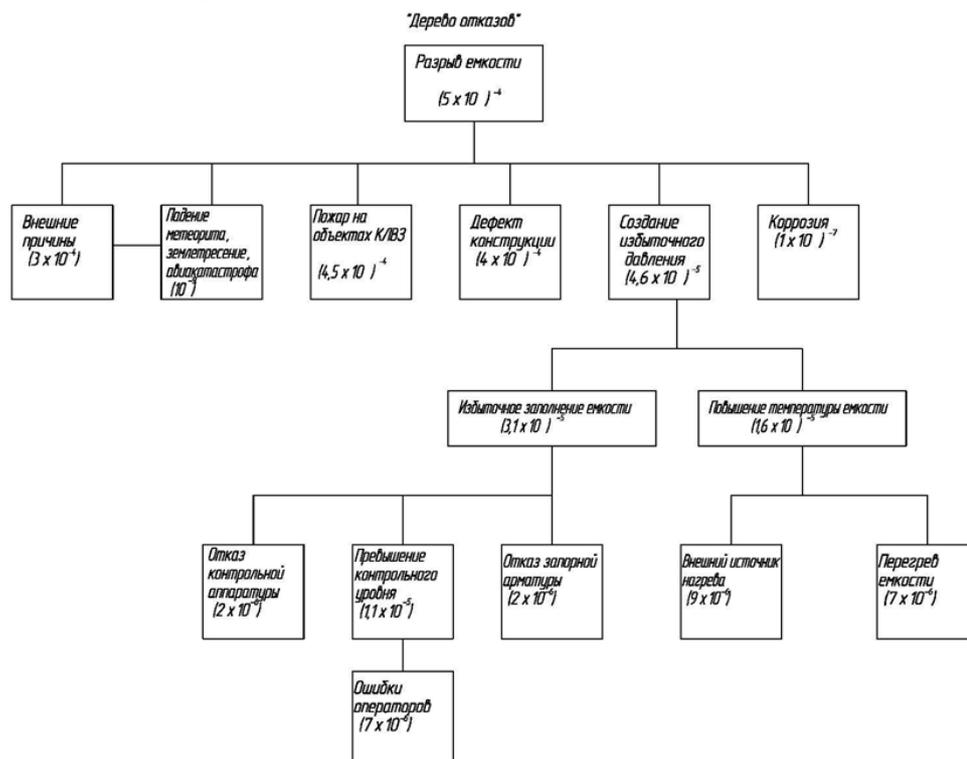
Эффективный диаметр пролива d, м	8,5
Максимальная площадь пожара, м <sup>2</sup>	16,6
Длительность пожара, мин	1,0
Радиус поражения открытым пламенем, м	9,1
Уровни поражения излучением, м	—
Воспламенение деревянных конструкций, м	—
Безопасное расстояние до объекта	23,1

**Табл. 3. Энергетический потенциал блока 4**

Энергетический потенциал (кДж)	Масса паров, участвующих во взрыве (кг)	Относительный энергетический потенциал взрывоопасности	Категория взрывоопасности	Приведенный радиус интенсивного воздействия ударной волны (радиус разрушения), R <sub>0</sub> м
5,1 x 10 <sup>5</sup>	5,0	4,6	III	0,32



Вероятность реализации таких аварий определена на основе анализа «дерева событий» и составляет для С-3<sub>4</sub> – объемный взрыв –  $2 \times 10^{-8}$  (1/год), а С-22<sub>4</sub> – пожар пролива –  $1,62 \times 10^{-5}$  (1/год).



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СЕРОВОДОРОДА В ПРИРОДНОМ ГАЗЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ ПРОТОЧНЫХ СИСТЕМ

Платонов И.А., Колесниченко И.Н., Лобанова М.С., Михеенкова А.Э.

Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королёва  
(национальный исследовательский университет). E-mail: pia@ssau.ru

Количественное определение сероводород, метил-, этилмеркаптанов и других серосодержащих соединений в природном газе, нефти и нефтепродуктах является одной из актуальных задач, поскольку указанные соединения, в силу повышенной реакционной способности являются причиной коррозионных повреждений проводящих коммуникаций. Основным методом анализа при решении данной задачи является газовая хроматография [1, 2], при этом точность количественного газохроматографического анализа в значительной степени определяется качеством стандартных образцов. Хранение стандартных смесей агрессивных летучих соединений сопряжено с потерей анализа в результате сорбции, в связи с чем целесообразным является приготовление стандартных смесей непосредственно в процессе анализа [3, 4].

Целью работы являлось разработка способов, устройств и методических приемов, позволяющих повысить точность количественного определения сероводорода и меркаптанов в природном газе.

Для достижения цели были решены следующие задачи: экспериментально и теоретически изучена динамическая газовая экстракция сероводорода из водных раство-

ров сульфида натрия. Определена оптимальная конфигурация системы для получения стабильных в течение длительного времени газовых смесей с прогнозируемой концентрацией сероводорода. Показано влияние числа сосудов, концентрации сульфида натрия и pH раствора на концентрацию сероводорода в получаемом газовом потоке. Потоки сероводорода, получаемые методом непрерывной газовой экстракции из водных сред, по принятой в Российской Федерации схеме метрологического обеспечения газоаналитических измерений соответствуют ПГС 2-го разряда.

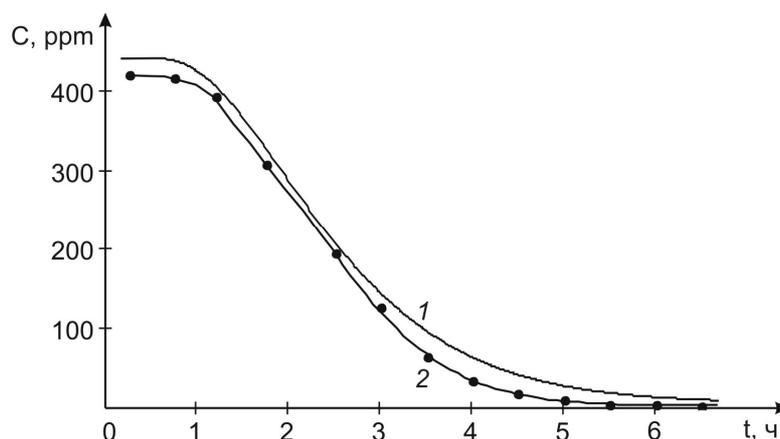
Разработана математическая модель описания процесса многоступенчатой газовой экстракции сероводорода из водных растворов сульфида натрия при условии, что в водном растворе сульфид натрия подвергается гидролизу с образованием сероводорода.

Решение уравнения материального баланса в безразмерных переменных при учете ограничивающих факторов (коэффициент активности сульфид-ионов в разбавленных растворах ( $<10^{-3}$  моль/л)  $\gamma_{S^{2-}} = 1$ ; равновесие гидролиза и равновесие жидкость-газ для молекулярного сероводорода устанавливаются мгновенно имеет вид:

$$S_2(\tau) = \exp(-k \cdot \tau) \cdot \left(1 + r_1 \cdot k \cdot \tau + \frac{1}{2} \cdot r_0 \cdot (k)^2 \cdot \tau^2\right), \quad (1)$$

где  $S_2(\tau)$  – относительная концентрация сероводорода на выходе из 3-го барботера;  $r_0, r_1$  – относительные концентрации сероводорода в растворе, находящемся в 1-ом и 2-ом барботере соответственно,  $k$  – константа барботера, одинаковая для всех барботеров.

Как видно из рис. 1, наблюдается хорошая корреляция экспериментальных и теоретических зависимостей, что подтверждает адекватность предлагаемой модели, позволяющей прогнозировать концентрацию сероводорода в газовом потоке на выходе из системы. Некоторое отклонение экспериментальной зависимости от рассчитанной теоретически можно объяснить процессами сорбции сероводорода на поверхности газовых коммуникаций и незначительными отклонениями свойств растворов от идеальности.

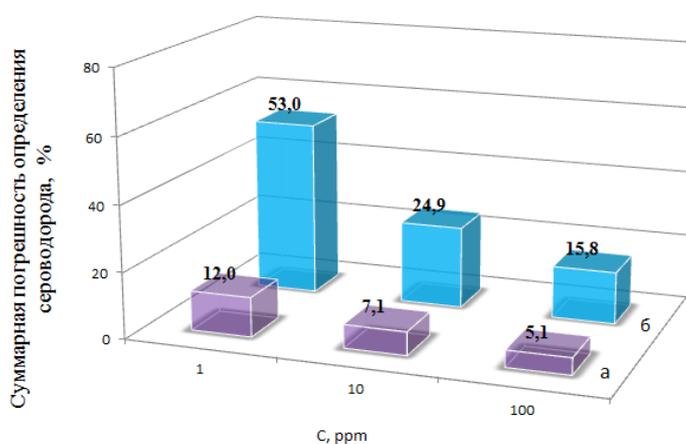


**Рис. 1.** Зависимость концентрации сероводорода в газовом потоке от времени пропуска инертного газа при использовании трех сосудов: 1 – расчет по математической модели; 2 – экспериментальные данные

Предложенный способ получения газовых потоков с постоянной микроконцентрацией сероводорода пригоден для получения газовых смесей в диапазоне от 1 до

1000 ppm. Нижняя граница диапазона может быть снижена при использовании дополнительного разбавления потока.

Результаты оценки параметров точности количественного определения сероводорода методом «введено-найдено» (рис. 2) показали, что погрешность анализа определяется вкладом случайной погрешности, которая в свою очередь обусловлена нестабильностью коммерческих газовых смесей сероводорода, в результате хранения которых имеет место сорбция аналита стенками сосуда, в результате чего не прогнозируемо изменяется концентрация сероводорода. Предложенный способ позволяет избежать данных недостатков, благодаря чему суммарная погрешность анализа уменьшается на 40%. Таким образом, предложенный способ получения газовых потоков с постоянной микроконцентрацией сероводорода, основанный на динамической газовой экстракции сероводорода из водных растворов сульфида натрия, может быть использован для поверки и градуировки газохроматографического оборудования.



**Рис. 2.** Сравнительная оценка точности определения сероводорода в природном газе с использованием стандартных процедур (б) и предложенного способа получения газовых смесей сероводорода (а)

## Литература

- [1] ГОСТ Р 50802-95. Нефть. Метод определения сероводорода, метил-, этил меркаптанов.
- [2] ASTM D5623-94. Standard Test Method for Sulfur Compounds in Light Petroleum Liquids by Gas Chromatography and Sulfur Selective Detection.
- [3] Платонов И.А., Исмагилов Д.Р., Кудряшов С.Ю., Смыгина И.Н., Онучак Л.А., Березкин В.Г. Получение газовых потоков с постоянной микроконцентрацией сероводорода// Журн. аналит. хим. 2006. Т. 61. №1. С. 59-64.
- [4] Березкин В.Г., Платонов И.А., Лепский М.В., Исмагилов Д.Р., Онучак Л.А. Использование межфазного равновесия в системе газ – нелетучая жидкость для получения газового потока, содержащего микроконцентрации летучих соединений // Журн. физ. хим. 2003. т. 77. №7. с. 1341-1344.

## ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ ПРИ ХРАНЕНИИ ЛЕГКОВОСПЛАМЕНЯЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ НА ПРИМЕРЕ «ВИНЗАВОДА КАЗАНСКИЙ» ОАО «ТАТСПИРТПРОМ»

Сагеева З.З., Богач В.В., Хайруллин Р.З.

Казанский национальный исследовательский технологический университет.

E-mail: zsagieva@inbox.ru

Филиал ОАО «Татспиртпром» «Винзавод Казанский» образован в 2002 году в результате реорганизации «Казанского ликероводочного производства», который был введен в эксплуатацию в 1975 году. Производственная деятельность предприятия связана с хранением этилового и коньячного спирта, а также производством, хранением и отпуском винных изделий и коньяка. Для оценки ущерба от аварий при хранении легковоспламеняющихся жидкостей рассмотрим подробнее участок спиртохранилища, блок-схема которого приведена на рис. 1.

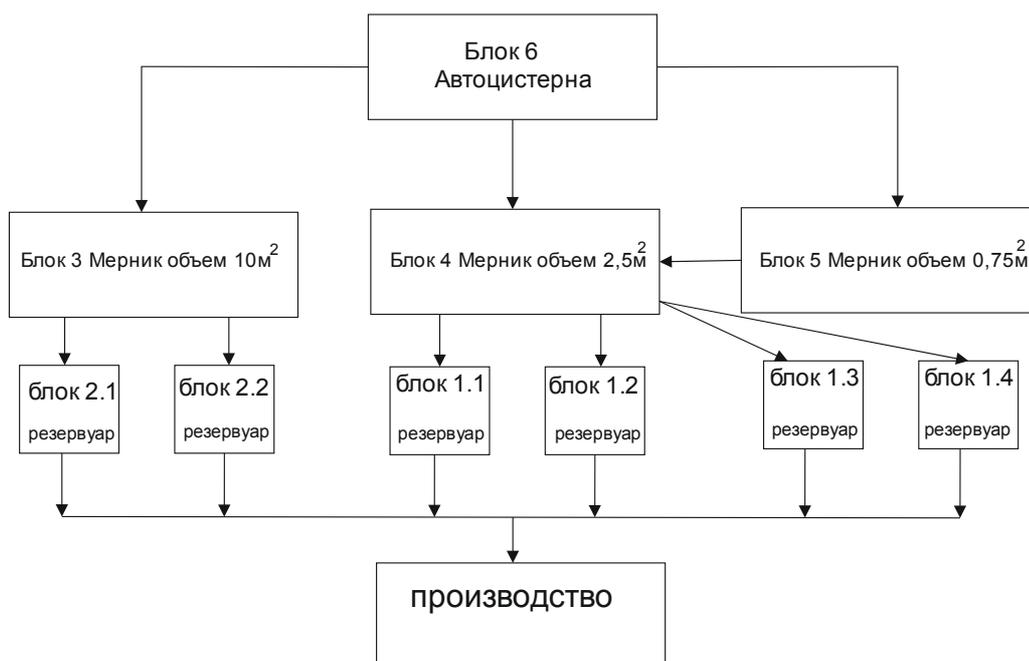


Рис. 1. Блок-схема спиртохранилища

Блоки №1.1, 1.2, 1.3, 1.4 представляют собой резервуары закрытого спиртохранилища для хранения этилового спирта, а блоки №2.1 и 2.2 для хранения коньячного спирта. Блоки №4, 5, 6 – мерники спиртоприемного отделения. Также в спиртоприемном отделении установлено два горизонтальных мерника спирта объемом 10 и 2,5 м<sup>3</sup> и один вертикальный мерник объемом 0,75 м<sup>3</sup>.

Операция слива спирта из автоцистерны в мерники (блоки 4, 5, 6) спиртоприемного отделения или резервуары хранения этилового спирта (блоки 1.1; 1.2, 1.3, 1.4) и коньячного спирта (блоки 2.1, 2.2) осуществляется насосами на автомобильном посту слива, расположенном в непосредственной близости от здания спиртохранилища. Объем автоцистерн 6,3 или 10,2 м<sup>3</sup>. Из мерников спирта с помощью центробежного

электронасоса производительностью 6,3 м<sup>3</sup>/час перекачивается на производство или в резервуары хранения этилового спирта (блоки 1.1, 1.2, 1.3.1.4) и коньячного спирта (блоки 2.1, 2.2).

Закрытое спиртохранилище представляет собой резервуарный парк, который включает в себя 6 вертикальных одностенных цилиндрических резервуара со спиртом с объемом каждого резервуара 19 м<sup>3</sup>. Резервуары спиртохранилища размещены на тумбах в изолированном помещении, оснащены дыхательными клапанами с огнепреградителями, уровнемерами и отсекающей арматурой, что позволяет рассматривать каждый резервуар, как отдельную составляющую технологического блока. Для осуществления сбора возможных проливов предусмотрен приямок с откосом пола.

Этиловый спирт представляет собой легковоспламеняющуюся жидкость, некоторые свойства которой представлены в табл. 1 [1].

Табл. 1. Свойства этилового спирта

Параметр	Значение
1. Молекулярная масса, кг/кмоль	46,069
2. Температура кипения, °С	78,39
3. Плотность, кг/м <sup>3</sup>	789
4. Температура вспышки, °С	13
5. Массовая скорость выгорания, кг/(м <sup>2</sup> ·с)	0,033
6. Удельная теплота сгорания, кДж/кг	27250
7. Концентрационные пределы распространения пламени, % об.	3,5-19,0
8. ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup>	1000

Были разработаны возможные сценарии аварий при хранении спирта (рис. 2).

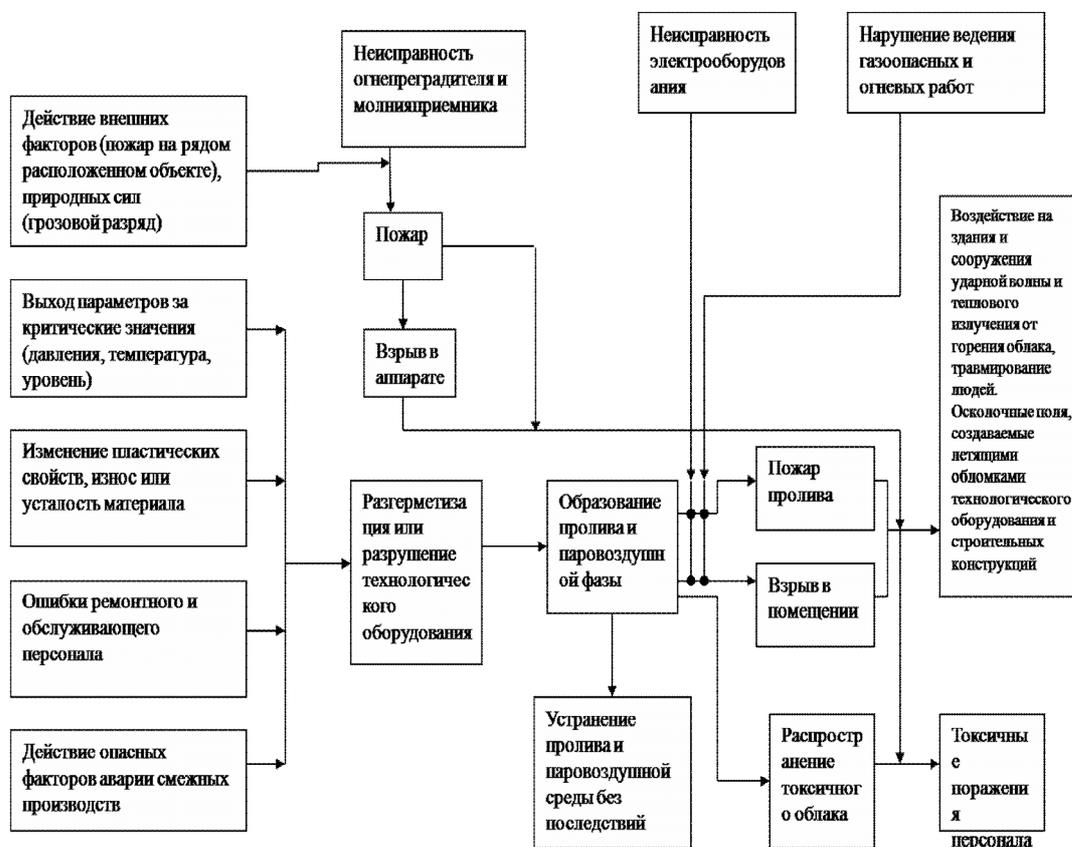


Рис. 2. Возможные сценарии аварий

В соответствии с методикой, приведенной в СП 12.13130.2009 [2] рассчитано избыточное давление взрыва резервуара ( $\Delta P=213,9$  кПа), а также удельная пожарная нагрузка.

На основании полученных данных сделаны выводы о вероятности следующих последствий возможного взрыва:

- полное разрушение технологического оборудования внутри помещения;
- выброс этилового спирта, распространение паров спирта во всем объеме помещения;
- взрыв в объеме помещения;
- воздействие на людей, разрушение коммуникаций, сооружений.

Также рассчитан возможный экономический ущерб от возможного взрыва (табл. 2).

**Табл. 2.** Экономический ущерб от возможного взрыва

Вид ущерба	Величина ущерба, руб.
Прямой ущерб	760 000
В том числе ущерб имуществу третьим лицам	0
Расход на ликвидацию (локализацию) аварии	100 000
Социально-экономические потери	1 160 000
В том числе гибель (травмирование) третьих лиц	0
Косвенный ущерб	19 060 000
В том числе для третьих лиц	0
Экологический ущерб	774 592
Итого:	21 854 592

В целях дальнейшего снижения риска аварий при эксплуатации взрывопожароопасных производственных объектов предлагается на рассматриваемом предприятии провести следующие мероприятия:

- анализ состояния противоаварийной защиты опасных производственных объектов;
- оценка рисков возникновения аварий, обеспечение разработки, реализации и контроля по их снижению;
- контроль работы ответственных организаций и работников предприятия;
- проведение регулярного обучения персонала предприятия с контрольной проверкой полученных знаний, а также проведение тренировочных занятий с персоналом;
- проведение периодического технического диагностирования технологических трубопроводов и резервуаров.

### **Литература**

- [1] Никольский Б.П., Григоров О.Н., Позин М.Е. и др. Справочник химика. Т.1-6 М.: Госхимиздат, 1963
- [2] СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности –М.: МЧС России, 2008. –28 с.

## МЕХАНИЧЕСКАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ КАК СПОСОБ СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВРЕДНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Салеева Е.Н., Хасанова В.К.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет.*

*E-mail: [www.katya.ru.94@mail.ru](mailto:www.katya.ru.94@mail.ru)*

В настоящее время известно около 7 млн. химических веществ и соединений (далее вещество), из которых 60 тыс. находят применение в деятельности человека. На международном рынке ежегодно появляется 500÷1000 новых химических соединений и смесей.

Вредным называется вещество, которое при контакте с организмом человека может вызывать травмы, заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами исследований как в процессе контакта с ним, так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

Все вредные вещества, согласно гигиенической классификации, делятся на химические вещества и производственную пыль. Химические вещества на организм оказывают: токсическое, раздражающее, канцерогенное, мутагенное, сенсибилизирующее (аллергия) и тератогенное (влияющие на репродуктивную функцию человека) действие.

Химические вещества (органические, неорганические, элементарноорганические) в зависимости от их практического использования, классифицируются на:

- промышленные яды, используемые в производстве: например, органические растворители (дихлорэтан), топливо (пропан, бутан), красители (анилин);
- ядохимикаты, используемые в сельском хозяйстве: пестициды (гексахлоран), инсектициды (карбофос) и др.;
- лекарственные средства;
- бытовые химикаты, используемые в виде пищевых добавок (уксусная кислота), средства санитарии, личной гигиены, косметики и т. д.;
- биологические растительные и животные яды, которые содержатся в растениях и грибах (аконит, цикута), у животных и насекомых (змея, пчел, скорпионов);
- отравляющие вещества: зарин, иприт, фосген и др.

Ядовитые свойства могут проявить все вещества, даже такие, как поваренная соль в больших дозах или кислород при повышенном давлении. Однако к ядам принято относить лишь те, которые свое вредное действие проявляют в обычных условиях и в относительно небольших количествах.

К промышленным ядам относится большая группа химических веществ и соединений, которые в виде сырья, промежуточных или готовых продуктов встречаются в производстве. В организм промышленные химические вещества могут проникать через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт и неповрежденную кожу. Однако основным путем поступления являются легкие. Помимо острых и хронических профессиональных интоксикаций, промышленные яды могут быть причиной понижения устойчивости организма и повышенной общей заболеваемости.

Бытовые отравления чаще всего возникают при попадании яда в желудочно-кишечный тракт (ядохимикаты, бытовые химикаты, лекарственные вещества). Возможны острые отравления и заболевания при попадании яда непосредственно в

кровь, например, при укусах змеями, насекомыми, при инъекциях лекарственных веществ.

Токсическое действие вредных веществ характеризуется показателями токсикометрии, в соответствии с которыми вещества классифицируют на:

- чрезвычайно токсичные,
- высокотоксичные,
- умеренно токсичные,
- малотоксичные.

Эффект токсического действия различных веществ зависит от количества, попавшего в организм вещества, его физических свойств, длительности поступления, химизма взаимодействия с биологическими средами (кровью, ферментами). Кроме того, эффект зависит от пола, возраста, индивидуальной чувствительности, путей поступления и выведения, распределения в организме, а также метеорологических условий и других сопутствующих факторов окружающей среды.

При повторяющемся воздействии вредных веществ на организм можно наблюдать и ослабление эффектов вследствие привыкания. Для развития привыкания к хроническому воздействию яда необходимо, чтобы его концентрация (доза) была достаточной для формирования ответной приспособительной реакции и не чрезмерной, приводящей к быстрому и серьезному повреждению организма. При оценке развития привыкания к токсическому воздействию надо учитывать возможное развитие повышенной устойчивости к одним веществам после воздействия других. Это явление называют толерантностью.

Вредные химические вещества способны проникать в организм человека тремя путями: через дыхательные пути (основной путь), а также через кожу и с пищей, если человек принимает ее, находясь на рабочем месте. Действие этих веществ следует рассматривать как воздействие опасных или вредных производственных факторов, так как они оказывают негативное (токсическое) действие на организм человека, в результате которого у человека возникает отравление - болезненное состояние, тяжесть которого зависит от продолжительности воздействия, концентрации и вида вредного вещества.

Существуют различные классификации вредных веществ, в зависимости от их действия на человеческий организм. В соответствии с наиболее распространенной классификацией вредные вещества делятся на шесть групп: общетоксические, раздражающие, сенсibiliзирующие, канцерогенные, мутагенные, влияющие на репродуктивную (детородную) функцию человеческого организма.

Общетоксические химические вещества (углеводороды, спирты, анилин, сероводород, синильная кислота и ее соли, соли ртути, хлорированные углеводороды, оксид углерода) вызывают расстройства нервной системы, мышечные судороги, нарушают структуру ферментов, влияют на кроветворные органы, взаимодействуют с гемоглобином.

Раздражающие вещества (хлор, аммиак, диоксид серы, туманы кислот, оксиды азота и др.) воздействуют на слизистые оболочки, верхние и глубокие дыхательные пути.

Сенсиibiliзирующие вещества (органические азокрасители, диметиламиноазобензол и другие антибиотики) повышают чувствительность организма к химическим веществам, а в производственных условиях приводят к аллергическим заболеваниям.

Канцерогенные вещества (асбест, нитроазосоединения, ароматические амины и др.) вызывают развитие всех видов раковых заболеваний. Этот процесс может быть отдален от момента воздействия вещества на годы, и даже десятилетия.

Мутагенные вещества (этиленамин, окись этилена, хлорированные углеводороды, соединения свинца и ртути и др.) оказывают воздействие на половые (соматические) клетки, входящие в состав всех органов и тканей человека, а также на половые клетки (гаметы). Воздействие мутагенных веществ на соматические клетки вызывает изменения в генотипе человека, контактирующего с этими веществами. Они обнаруживаются в отдаленном периоде жизни и проявляются в преждевременном старении, повышении общей заболеваемости, злокачественных новообразований. При воздействии на половые клетки мутагенное влияние сказывается на последующее поколение. Это влияние оказывают радиоактивные вещества, марганец, свинец и т.д.

Тератогенные химические вещества, влияющие на репродуктивную функцию человека (борная кислота, аммиак, многие химические вещества в больших количествах), вызывают возникновение врожденных пороков развития и отклонений от нормальной структуры у потомства, влияют на формирование плода в матке и послеродовое развитие и здоровье потомства.

Существует много методов по предотвращению негативного воздействия вредных химических веществ на организм человека, но одним из наиболее эффективных является применение механической вентиляции.

Искусственная (механическая) вентиляция, в отличие от естественной, предоставляет возможность очищать воздух перед его выбросом в атмосферу, улавливать вредные вещества непосредственно около мест их образования, обрабатывать приточный воздух (очищать, подогревать, увлажнять), более целенаправленно давать воздух в рабочую зону. Кроме того, механическая вентиляция позволяет организовать забор воздуха в наиболее чистой зоне территории предприятия и даже за ее пределами.

Местная вентиляция может быть приточной и вытяжной. Местная приточная вентиляция, при которой осуществляется концентрированная подача приточного воздуха заданных параметров (температуры, влажности, скорости движения), выполняется в виде воздушных душей, воздушных и воздушно-тепловых завес.

Воздушные души используются для предотвращения перегрева рабочих в горячих цехах, а также для образования так называемых воздушных оазисов (участков производственной зоны, которые резко отличаются своими физико-химическими характеристиками от остального помещения),

Воздушные и воздушно-тепловые завесы предназначены для предотвращения проникновения в помещения значительных масс холодного наружного воздуха при необходимости частого открывания дверей или ворот. Воздушная завеса создается струей воздуха, которая направляется из узкой длинной щели, под некоторым углом навстречу потоку холодного воздуха.

Местная вытяжная вентиляция осуществляется при помощи местных вытяжных зонтов, всасывающих панелей, вытяжных шкафов, бортовых отсосов и других устройств.

Конструкция местного отсоса должна обеспечить максимальное улавливание вредных выделений при минимальном количестве удаляемого воздуха. Кроме того, она не должна быть громоздкой и мешать обслуживающему персоналу работать и следить за технологическим процессом.

Основными факторами при выборе типа местного отсоса являются характеристика вредных выделений (температура, плотность паров, токсичность), положение рабочего при выполнении работы, особенности технологического процесса и оборудования.

Естественная и искусственная вентиляция должна отвечать следующим санитарно-гигиеническим требованиям:

- создавать в рабочей зоне помещений соответствующие нормам метеорологические условия труда (температуру, влажность и скорость движения воздуха);
- полностью удалять из помещений вредные газы, пары, пыль и аэрозоли или растворять их до предельно допустимых концентраций;
- не вносить в помещение загрязненный воздух снаружи или путем засасывания из смежных помещений;
- не создавать на рабочих местах сквозняков или резкого охлаждения;
- быть доступными для управления и ремонта в процессе эксплуатации;
- не создавать в процессе эксплуатации дополнительных неудобств (например, шума, вибраций, попадания дождя, снега).

Кроме того, должен проводиться контроль за содержанием вредных веществ в производственных помещениях, систематическая уборка помещений, а также регулярный медосмотр работающих.

## **ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ**

Хисматуллина А.Ф, Хасанова В.К.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет.*

*E-mail: Aizilya1995@mail.ru*

Трубопроводный транспорт является важнейшей составной частью производственной инфраструктуры страны. Поэтому его развитие является одной из приоритетных задач государственной политики. Роль трубопроводного транспорта еще более увеличивается в условиях глобализации мировой экономики, приводящей к значительному увеличению взаимовыгодных межгосударственных экономических связей.

В настоящее время имеется тенденция к увеличению объема резервуаров при сооружении крупных резервуарных парков. Эта тенденция объясняется тем, что под большие резервуары требуется меньшая площадь застройки, при их сооружении уменьшаются затраты на устройство основных и вспомогательных коммуникаций. Но увеличение объемов резервуаров приводит в свою очередь к повышению требований по надежности, предъявляемых при их строительстве и эксплуатации.

Трубопроводные объекты ОАО «Магистральные нефтепроводы» относятся к категории опасных производственных объектов.

Опасным производственным объектом при транспортировании нефти является магистральный нефтепровод (далее – МН) в составе:

- линейная часть магистрального нефтепровода;

- нефтеперекачивающие станции (НПС), первоначальные нефтебазы (ПНБ), пункты подогрева нефти магистрального нефтепровода (ППН), станции смешения нефти (ССН);
- пункты сдачи, перевалки, налива нефти на другой вид транспорта;
- другие опасные производственные объекты, входящие в состав МН, согласно Федеральному Закону от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов".

Система управления промышленной безопасностью производственных объектов магистральных нефтепроводов должна предусматривать:

- идентификацию опасных производственных объектов;
- лицензирование деятельности по эксплуатации;
- организацию эксплуатации МН с соблюдением требований нормативных документов;
- непрерывный контроль (мониторинг) состояния безопасности объектов;
- оценку состояния безопасности объектов и прогноз его изменения;
- выработку методов и планов поддержания безопасности объектов в пределах норм или допустимых рисков и реализацию этих планов;
- поддержание в готовности систем управления и оповещения, сил и средств по ликвидации аварий и их последствий на МН, взаимодействие с формированиями МЧС России;
- взаимодействие с органами государственного надзора и контроля;
- обязательное страхование рисков ответственности за причинение вреда при эксплуатации опасных производственных объектов;
- разработку деклараций безопасности объектов МН.

Оборудование нефтеперекачивающих станций подвергается техническому диагностированию с целью обеспечения его надежности и безопасности. Диагностирование магистральных нефтепроводов осуществляют организации, имеющие лицензию Госгортехнадзора России на право проведения диагностирования объектов МН, или специалисты ОАО МН и его филиалов, имеющие квалификационные удостоверения, допущенные к проведению диагностирования, при наличии аттестованной диагностической аппаратуры и утвержденных в установленном порядке методик технического диагностирования.

Задачами технического диагностирования являются:

1. определение технического состояния оборудования, в том числе обнаружение и классификация дефектов (отказов), прогноз их развития;
2. определение остаточного ресурса и продление срока службы оборудования;
3. определение сроков и объемов ремонта, необходимости замены или модернизации оборудования.

Диагностирование линейной части МН предусматривает следующие виды работ:

- внутритрубную диагностику линейной части МН путем пропуска внутритрубных инспекционных снарядов (ВИС);
- внешнее дефектоскопическое обследование участков МН с применением методов неразрушающего контроля;
- оценку состояния изоляционных покрытий и эффективности работы средств электрохимической защиты (ЭХЗ).

Внутритрубная диагностика должна проводиться с использованием комплексов технических средств, основу которых составляют внутритрубный инспекционный

снаряд (ВИС), реализующие различные виды неразрушающего контроля и перемещаемые по трубопроводу потоком перекачиваемого продукта.

Состав ВИС, применяемых при проведении внутритрубной диагностики, должен обеспечивать определение:

- дефектов геометрии трубопровода (вмятин, гофр, овальности), ограничивающих проходное сечение, и радиусов его поворота (радиусов отводов);
- дефектов стенки трубы (коррозии металла, забоин, задиrow, риск, царапин, расслоений и т.п.);
- трещин и трещиноподобных дефектов определенной ориентации по отношению к оси трубопровода (осевой или поперечной), расположенных в основном металле трубы и в сварных швах;
- положение сварных швов, подкладных колец.

Представляемый к внутритрубному диагностированию трубопровод (или его участки) должен отвечать требованиям нормативной документации в части обеспечения проходимости средств диагностики. Трубопровод (или его участки), не отвечающий требованиям контролепригодности, должен доводиться ОАО МН (или его филиалами) до требуемого уровня. Подрядчик, выполняющий диагностирование МН, за 10-30 дней до планируемого начала работ должен письменно уведомить ОАО МН о своей готовности к проведению внутритрубной диагностики. ОАО МН должно предоставить подрядчику паспортные данные по трубопроводу (или его участкам), представляемому к внутритрубному диагностированию, информацию о режимах его работы и другие необходимые данные в соответствии с нормативной документацией.

По результатам внутритрубной диагностики подрядчик должен представить в ОАО МН технический отчет, подписанный руководством его предприятия и заверенный печатью, в сроки согласно условиям договора. Отчет по результатам внутритрубной диагностики должен содержать информацию о всех дефектах, информацию о дефектах, требующих ремонта и дефектах, подлежащих первоочередному ремонту. В отчете должны быть приведены данные о местоположении каждого дефекта относительно точек-ориентиров и поперечных сварных швов.

Определение фактического технического состояния оборудования производится на основе проверки соответствия и сравнения текущих значений его параметров с допустимыми и базовыми значениями.

Допустимые значения параметров, необходимых для оценки технического состояния оборудования, а также периодичность проведения планового контроля, назначаемая с учетом фактических показателей надежности, количества пусков и результатов, выполненных ранее диагностических и ремонтных работ, определяются в соответствии с нормативными документами.

В рамках диагностирования оборудования НПС должны проводиться оперативный, плановый и неплановый контроль технического состояния.

Оперативный (непрерывный) контроль - контроль технического состояния, при котором поступление информации о контролируемых параметрах происходит постоянно. В объем оперативного диагностического контроля входят также технические осмотры объектов НПС, которые проводятся согласно графику в соответствии с нормативной документацией.

Плановый (периодический) контроль - контроль фактического технического состояния оборудования НПС по параметрам, позволяющим оценить техническое состояние оборудования, составить прогноз его работоспособности.

Неплановый контроль - контроль технического состояния оборудования НПС, проводимый в случае резкого изменения значений постоянно контролируемых параметров, а также, если по результатам оперативного контроля выносится решение о предполагаемом развитии дефекта.

Для определения фактического технического состояния технологических трубопроводов, должны производиться ревизия, испытания (в рамках планового контроля) и надзор в соответствии с нормативными документами.

Организация функционирования системы управления промышленной безопасностью на объектах МН возлагается на руководство ОАО МН, филиалов ОАО МН и их подразделений, эксплуатирующих опасные производственные объекты.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РВС ОТ КОРРОЗИИ**

Васильев М.Л., Исмагилов М.Р., Мухаметова М.Ю.,  
Хайруллин И.А., Шарафиев Р.Г.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет.*

В процессе эксплуатации вертикальных цилиндрических резервуаров за последние 80 лет произошли многочисленные аварии. Вытекшие из резервуара нефть, горячая вода и другие продукты хранения вызывают экологическую катастрофу. В связи с этим обеспечение работоспособности резервуара и увеличение срока безопасной эксплуатации является актуальной задачей на сегодняшний день.

Одним из способов обеспечения работоспособности стального вертикального резервуара является использование антикоррозионных покрытий, специальных материалов. В качестве таких материалов выступают полимерные композиционные материалы. Одним из широко используемых полимерных композиционных материалов в настоящее время является поликарбонат.

В статье предложена идея использования поликарбоната для покрытия внутренних стенок корпуса резервуаров в качестве антикоррозионной защиты.

За последние годы поликарбонат получил широкое распространение. Помимо хороших физических характеристик, данный материал обладает и другими ценными качествами. К таковым можно отнести его высокие прочностные характеристики, устойчивость к агрессивным средам и т.д.

Для определения физико-химических свойств поликарбоната в лаборатории Уфимского государственного нефтяного технического университета были проведены опыты на устойчивость поликарбоната к различным средам, испытания на растяжение – сжатие, а также на горючесть.

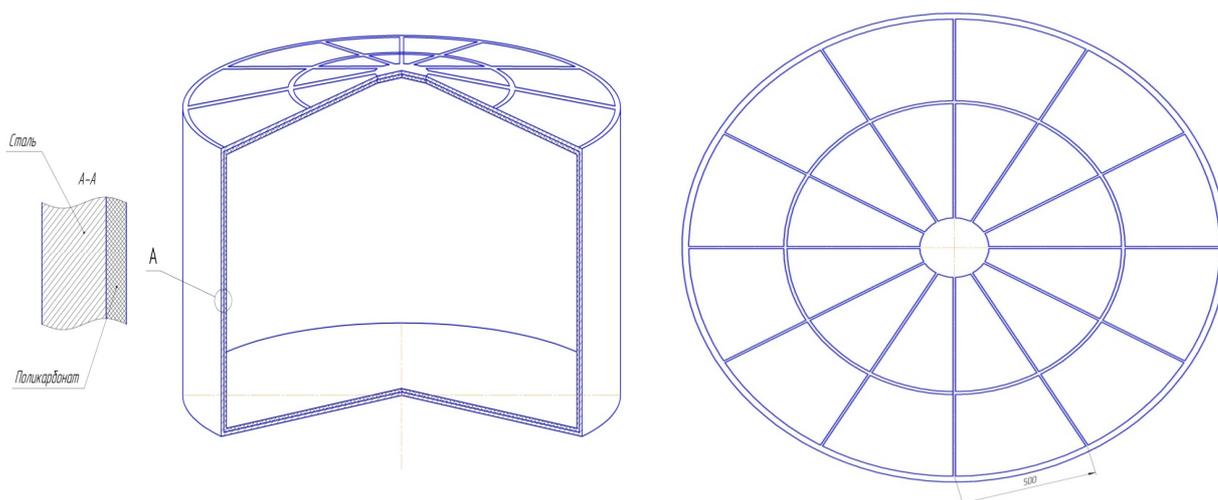
В результате проведенных опытов были сделаны следующие выводы. Исследуемые образцы поликарбоната устойчивы к следующим веществам: дизельное топливо, нефть, тормозная жидкость, афтол, машинное масло, выявилась нестойкость поликарбоната к бутилацетату. Поликарбонат с большей толщиной имеет наилучшие прочностные свойства, по отношению к поликарбонату с наименьшей толщиной. При испытании ПК на растяжение опыт показал, что при приложении силы вдоль сот образец выдерживает наибольшие нагрузки по отношению к приложенным силам поперек сот. Аналогичные

результаты показали и при испытании поликарбоната на сжатие. При воздействии пламени на ПК был сделан вывод что образцы толщиной 3 и 6 мм являются трудногорючими, а образец толщиной 4 мм горючим. Трудногорючесть образцов объясняется плотным расположением сот у образца толщиной 3 мм и широкой толщиной сот у образца 6 мм.

Сочетание свойств поликарбоната как материала с удачным строением приводит к уникальным свойствам, которыми в полном объеме не обладает, пожалуй, ни один из других полимеров. Одним из возможных направлений является использование поликарбоната для антикоррозионной защиты внутренней поверхности резервуаров для хранения нефтепродуктов, т.к. его уникальные свойства позволяют повысить безопасность РВС, облегчить его конструкцию и увеличить экономическую эффективность от его применения.

Также предлагается использовать поликарбонат и при строительстве крыши резервуаров. Таким образом, при выполнении каких-либо работ, связанных с монтажом или зачисткой резервуара, не будет возникать необходимости в осветительных приборах. В результате чего исключена возможность взрыва газовой смеси от образования искры.

На рисунке обозначены проектируемые области использования ПК.



**Рисунок.** Использование поликарбоната для облицовки внутренней поверхности и крыши РВС

## **Литература**

- [1] Шарафиев Р.Г. Багаутдинов Н.Я., Гильманшин Р.А., Исмагилов М.Р., Киреев И.Р., Сагадеев И.Р., Использование современных полимерных материалов для защиты резервуара от коррозии - Журнал «Монтажные и специальные работы в строительстве» №874, 2015. -32 с.
- [2] Сафарян, М.К. Проектирование и сооружение стальных резервуаров/ М.К. Сафарян, О.М. Иванцов. – М.: Гостоптехиздат, 1961. – 328 с.

## ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ПУТЕМ МОДЕРНИЗАЦИИ СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ ГРУППОВЫХ ЗАМЕРНЫХ УСТАНОВОК

Васильев М.Л., Исмагилов М.Р., Мухаметова М.Ю., Хайруллин И.А., Шарафиев Р.Г.  
*Уфимский государственный нефтяной технический университет.*

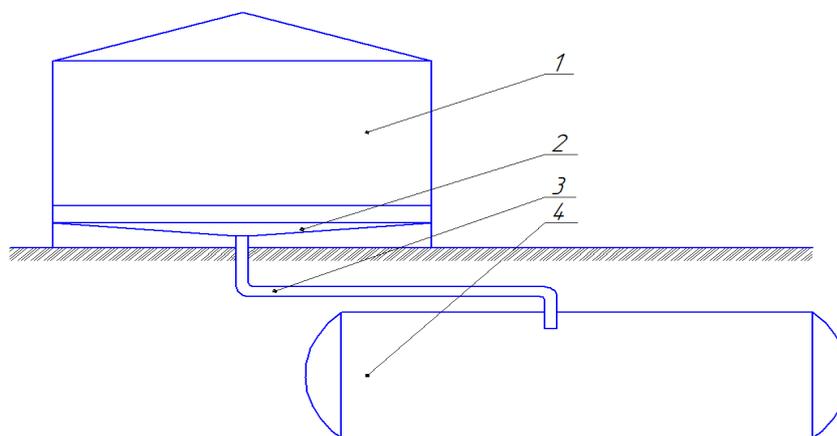
Современный этап развития техники в нефтедобывающей отрасли характеризуется разработкой путей модернизации находящихся в эксплуатации и вновь выпускаемых автоматических групповых замерных установок (АГЗУ).

АГЗУ состоит из двух блоков. В технологическом блоке размещаются сепарационная емкость, счетчик жидкости, блок гидропривода, переключатель скважин, запорная арматура, контрольно-измерительные приборы. В аппаратурном блоке установлены блок измерения и обработки информации, система телемеханики и силовой шкаф. Здесь контролируется работа скважин, ведется подсчет их дебита, отсюда вся информация передается в цех для удаленного мониторинга и управления.

При использовании АГЗУ возникает ряд экологических проблем, одно из них является нарушение герметичности трубопроводной обвязки, что ведет к разливу нефти в окружающую среду.

Во избежание экологической проблемы и значительных материальных потерь, в данной работе предлагается использовать слив нефти в дренажную емкость при порывах на АГЗУ.

Реализация предложенной технологической схемы с использованием слива нефтепродуктов с автоматической групповой замерной установки представлена на рисунке.



**Рисунок.** Модернизированная схема АГЗУ: 1 – автоматическая групповая замерная установка; 2 – нефтесборник; 3 – слив в дренажную емкость; 4 – дренажная емкость

Принцип работы заключается в том, что при порыве нефть будет стекать в нефтесборник и проходя слив будет поступать в дренажную емкость. Таким образом исключается разлив нефти в окружающую среду. Следовательно, предприятие значительно экономит на транспортных услугах, рабочей силе и не оказывает вред окружающей среде.

## **Литература**

- [1] Оператор по добыче нефти и газа: учебное пособие / Б.В. Покрепин. - Волгоград: Издательский Дом «Ин-Фолио», 2011. -448 с: илл.
- [2] Основы технологии аппаратостроения / Кузмак Е.М., - Москва: Недра, 1967. -455 с.
- [3] [http://lukoil-zs.ru/press\\_centre/newspaper/issue21\\_2012/article122101](http://lukoil-zs.ru/press_centre/newspaper/issue21_2012/article122101).

## **ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТОТЕХНИКИ ПРИ РЕМОНТНЫХ И СВАРОЧНЫХ РАБОТАХ ВНУТРЕННИХ УСТРОЙСТВ ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ АППАРАТОВ**

Кинзябулатова Р.Ф., Баязитов М.И.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет.*

*E-mail: otdelkko@mail.ru*

Основной целью применения роботов является высокий уровень автоматизации, позволяющий повысить производительность и эффективность. Промышленные роботы, которые являются одним из основных технологических средств достижения этой цели, предназначены для выполнения монотонной, тяжелой, грязной и опасной работы. В нефтяной и газовой промышленности роботы использовались для выполнения весьма специфических операций, где основным требованием было обеспечение безопасности. Все шире нефтяные и газовые компании стали применять роботов в тех местах, где они могут способствовать росту эффективности и производительности. Одной из таких сфер применения является дистанционное управление при ремонтных и монтажных работах в труднодоступных и пожароопасных местах работы (внутри колонных аппаратов). Кроме того, операции, выполняемые роботом, будут более надежными и точными по сравнению с человеком. Автоматизация требует нового подхода к технологиям. Хотя роботизированные комплексы в основном не могут заменить полностью человека, так как для них требуются операторы, а также программисты и специалисты по обслуживанию.

Робот-манипулятор представляет собой устройство механического типа с системой управления манипулятора:

- программного управления с помощью мобильных компьютеров по запрограммированному алгоритму по четко фиксированным действиям,
- адаптивного управления датчиков, которые выполняют функцию органов чувств (вижу, слышу, чувствую). Они передают определенный сигнал, исходя из своего положения и чувствительности к данной среде, вследствие чего главный блок управления принимает решения о дальнейших действиях робота.
- дистанционное управление всеми движениями манипулятора человеком при помощи, пульта управления или любого другого устройства для контроля связи с манипулятором.

Рука манипулятора – это универсальное средство для совершения манипуляций с закрепление элементов тарелок массообменных аппаратов с помощью болтов к опорным конструкциям аппарата. Способ захвата аналогичен человеческой руке и осуществляется механическими пальцами.

Робот предназначен, в первую очередь для безопасной работы сотрудников в труднодоступных местах, связанных с риском получения травм при проведении монтажных и сварочных работ внутри колонных аппаратов. Так как в колонных аппаратах долгое время хранятся, нефтепродукты и фоновое загрязнение находится даже после опорожнения сосудов на высоком уровне. Персонал, который осуществляет монтаж внутреннего оборудования, должен быть одет в средства индивидуальной защиты, что дополнительно затрудняет рабочий процесс.

Робот должен анализировать полученные данные с датчиков, для проведения анализа и предупреждения пожаро-взрывоопасных ситуаций.

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РОЗЛИВА НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ ПО ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Файдорова Т.А., Вилохина П.В., Алексеев В.А.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет.*

*E-mail: fta7@mail.ru*

В настоящее время для нефтедобывающей промышленности России остро стоит вопрос о обеспечении экологической безопасности на объектах, расположенных вблизи или на акваториях. К надежности подводных переходов нефтепроводов предъявляются высокие требования, так как даже незначительные повреждения подводных переходов с потерей герметичности приводят к тяжелым экологическим последствиям.

Так за последние годы по данным по данным портала безопасности и анализа риска [1] были зафиксированы следующие аварии:

04.03.13 года Республика Коми, ЦППН №1 (цех подготовки и перекачки нефти) ТПП «ЛУКОЙЛ-Ухтанефтегаз», межпромысловый нефтепровод «НПС Мичаю-УПСВ Савинобор», 800м от ДНС «Мичаю» по трассе трубопровода, при обходе обнаружен выход нефтесодержащей эмульсии в районе поймы ручья Мичаю по причине разгерметизации межпромыслового нефтепровода;

03.05.2013 года Саратовская обл., Марксовский район. В результате несанкционированной врезки в нефтепровод ОАО «Саратовнефтегаз», произошла утечка. Нефть попала в приток Волги. Площадь загрязнения составила 10 тысяч кв м.;

30.08.2013 года Краснодарский край, Северский район, н. п. Смоленская. Произошел прорыв коллектора нагнетательной скважины РН-Краснодарнефтегаз, содержащий смесь нефтяной эмульсии и воды в реку Афипс.

02.09.2013 года на южном берегу Таганрогского залива Азовского моря, на территории ОАО "Ейский морской порт", при погрузке мазута на 1-м причале разорвался нефтепровод, в результате образовалось нефтяное пятно площадью около 50 квадратных метров с толщиной пленки не более 5 см.

Анализ обстоятельств возникновения и развития аварий, описания которых приведены выше позволил сделать следующие выводы [2]:

1. Аварии на нефтепроводах, возникают по причинам общего характера, которые можно объединить в следующие взаимосвязанные группы причин: технические причины, приблизительно 60 % от всех причин (коррозионные повреждения нефтепровода – это разрушение металлических поверхностей под влиянием химиче-

ского или электрохимического воздействия окружающей среды; дефекты труб - любое несоответствие контролируемого параметра качества материалов и изделий регламентированным нормам, разрушение фланцевых соединений трубопроводов, разрушение сварных соединений, усталостные трещины, коррозия, эрозия металлов, повышенная хрупкость стали, прогар труб, неисправности (заклинивание) запорных и регулирующих устройств, предохранительных и аварийных клапанов, отсутствие или неисправность средств контроля, противоаварийной защиты, сигнализации и связи). Организационные причины, приблизительно 40 % от всех причин (нарушения норм технологического режима, недостаточный контроль за состоянием трубопроводов, нарушения регламента обслуживания и ремонта, несоблюдение требований промышленной безопасности, норм и правил пожарной безопасности, ошибочные действия персонала и т.д.)

2. Как правило, аварии возникают по совокупности нескольких причин. Недооценка опасности, незнание возможных сценариев развития аварий и неправильная организация действий персонала и привлекаемых формирований часто становятся причиной несчастных случаев.

Для исследования процесса разлива жидкости при разгерметизации трубопроводов на кафедре МАХП КНИТУ, была создана экспериментальная установка [3], имитирующая разлив нефти и нефтесодержащих жидкостей через отверстия небольшого диаметра на водной поверхности.

Полученные изображения обрабатывались в графическом редакторе, где они приводились к единому масштабу, границы пятна оконтуривались, после находилась площадь разлитого пятна.

### Результаты эксперимента

Результаты эксперимента при различных скоростях течения воды

Исходные данные для эксперимента:

Высота уровня воды (h) 40мм;

Скорость течения ( $g_{теч.}$ ):

эксперимент 1 0.04 м/с

эксперимент 2 0.05 м/с

эксперимент 3 0.06 м/с

Жидкость - дизельное топливо

Диаметр отверстия подачи жидкости 11мм

Высота уровня жидкости 350 мм.вод.ст.

График зависимости площади разлива при различных скоростях течения воды представлена на рис. 1.

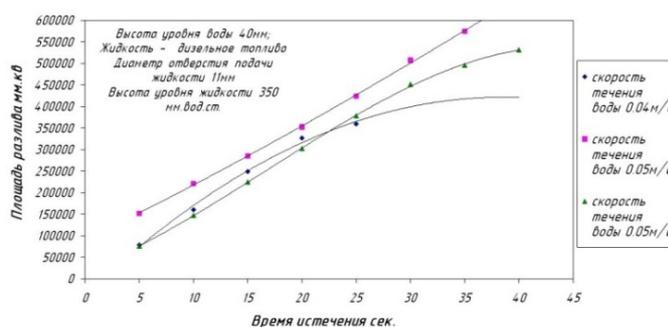


Рис. 1. График зависимости площади разлива при различных скоростях течения воды.

Результаты эксперимента при различном начальном напоре

Исходные данные для эксперимента:

Высота уровня воды (h) 40мм

Скорость течения ( $v_{теч.}$ ) 0.05 м/с

Жидкость - дизельное топливо

Диаметр отверстия подачи жидкости 11мм

Высота уровня жидкости:

эксперимент 1 350 мм.вод.ст.

эксперимент 2 155 мм.вод.ст.

эксперимент 3 85 мм.вод.ст.

График зависимости площади разлива при различном начальном напоре представлены на рис. 2.

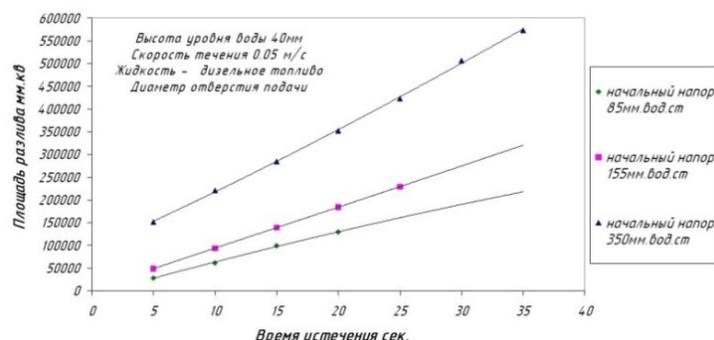


Рис. 2. График зависимости площади разлива при различном начальном напоре

Результаты эксперимента при различной глубине залегания источника истечения

Исходные данные для эксперимента:

Высота уровня воды (h)

эксперимент 1 40 мм.

эксперимент 2 80 мм.

эксперимент 3 140 мм.

Скорость течения ( $v_{теч.}$ ) 0.05 м/с

Жидкость - дизельное топливо

Диаметр отверстия подачи жидкости 11мм

Высота уровня жидкости: 350

График зависимости изменения площади разлива при различной глубине залегания источника истечения представлены на рис. 3.

Результаты экспериментальных исследований, проведенных на установке по исследованию разливов нефти, нефтепродуктов и других опасных жидкостей на водной поверхности, смоделированы в пакете прикладных программ "ANSYSFLUENT". Был проведен численный эксперимент с растеканием дизельного топлива по водной поверхности.

Моделирование геометрической модели для расчетной области проводится в модуле Design Modeler, а моделирование процесса разлива нефтепродукта по водной поверхности проводится в решателе программного комплекса Fluent.

Моделирование процесса разлива состоит из следующих этапов [4]:

1. Создание геометрии.
2. Создание расчетной сетки.

3. Импортирование сетки и проверка правильности сетки.
4. Выбор решателя.
5. Выбор определяющих уравнений, составляющую модель.
6. Задание физических свойств веществ.
7. Задание граничных условий.
8. Устанавливаем параметры контроля решения и проводим инициализацию поля решения.
9. Расчет.
10. Анализ результатов.

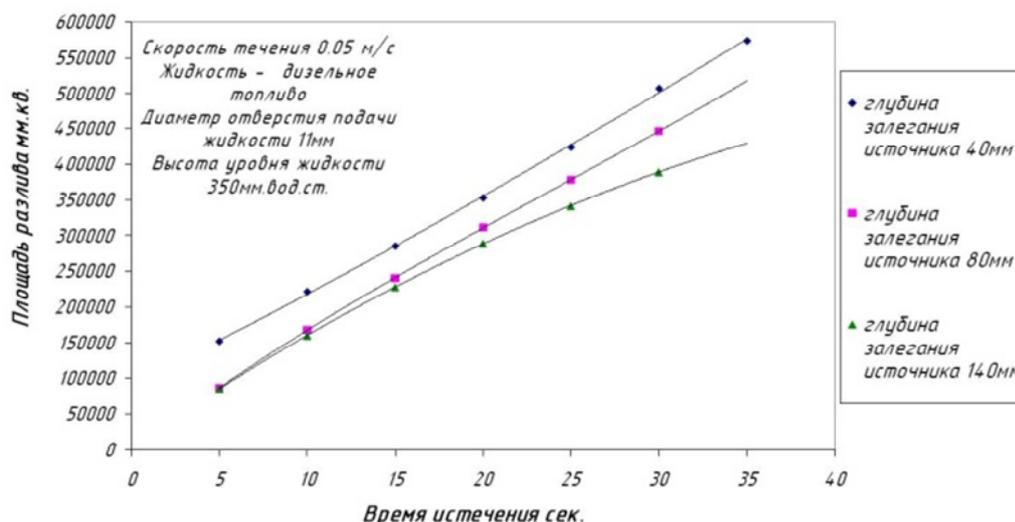


Рис. 3. График зависимости площади разлива при различной глубине залегания источника истечения

Полученные данные эксперимента, с помощью построенной сеточной модели в программе “ANSYSFLUENT”, были сопоставлены с экспериментальными данными, полученными с помощью экспериментальной установки.

В результате обработки результатов экспериментов были составлены графики зависимости полученных площадей разлива с помощью экспериментальной установки и площадей разлива, полученных с помощью численного моделирования. График, отражающий результаты численного эксперимента представлен на рис. 4.

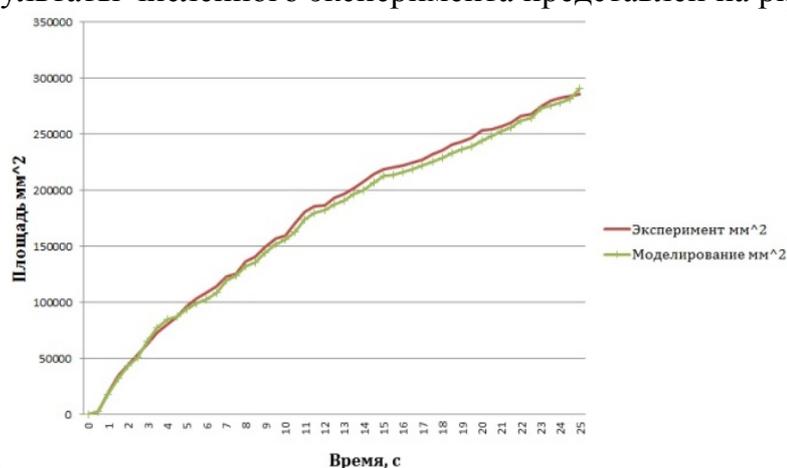


Рис. 4. Сопоставление площадей разлива нефтепродуктов, полученных с помощью эксперимента, и площадей, полученных при моделировании.

В связи с этим можно сделать вывод, что проведенный эксперимент подтверждает адекватность математической модели.

Целью дальнейшей работы является создание математической модели прогнозирования разлива нефтепродуктов при разгерметизации на водных переходах на примере конкретной аварии.

Прогнозирование последствий аварийных разливов нефти, нефтепродуктов и других опасных жидкостей необходимо при разработке проектной документации, деклараций промышленной безопасности, планов по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов и иных документов, связанных с безопасностью объектов трубопроводного транспорта.

### Литература

- [1] Портал безопасности и анализа риска iРиск: <http://www.i-risk.ru/>.
- [2] Промышленная безопасность и надежность магистральных трубопроводов/Под ред. А.И. Владимиров, В.Я. Кершенбаума. – М.: Национальный институт нефти и газа, 2009. 696 с.
- [3] Алексеев В.А., Алексеев С.В., Миннегалеев А.Н., Ахметов Р.Р. Моделирование процесса разлива нефти и нефтепродуктов при разгерметизации на подводных переходах магистральных нефтепродуктопроводов. / Вестник Казанского технологического университета, 2011, №8, с. 172-177.
- [4] Поникаров С.И., Алексеев В.А., Вилохина П.В. Компьютерное моделирование разлива дизельного топлива по водной поверхности. / Вестник Казанского технологического университета, 2015, №15, с. 204-207.

## ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТОВ ДЕФОРМАЦИОННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ (ВЫПУЧИНЫ) НА БЕЗОПАСНУЮ ЭКСПЛУАТАЦИЮ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Нуруллина Л.Ф., Валеев С.И.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет.*

*E-mail: Leysan33@mail.ru*

Эксплуатация оборудования, отработавшего ресурс является потенциально опасным для жизни и здоровья людей, поэтому использование такого оборудования ограничено и возможно только с разрешения Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. [1]

Отечественный и зарубежный опыт проектирования, изготовления и эксплуатации технических устройств позволяет обеспечивать их прочность и ресурс при соблюдении основных нормативных требований и запасов в условиях штатных (нормальных) режимов работы. Возникающие нештатные и аварийные ситуации на потенциально опасных объектах предприятий нефтехимической промышленности, сопровождаются взрывами, пожарами, загрязнениями больших площадей и объемов грунтов, рек, водоемов и воздушной среды, и как следствие сопутствующими им вторичными взрывами и разрушениями. Риски тяжелых аварий непрерывно увеличиваются по мере повышения рабочих параметров и концентрации объектов нефтехимической промышленности. Для России в настоящее время вероятность возникновения

тяжелых аварий и катастроф непрерывно возрастает в связи с исчерпанием ресурса объектов нефтяной, газовой, нефтехимической промышленностей. Ущерб, наносимые тяжелыми авариями и катастрофами, становятся сопоставимыми (а во многих случаях – многократно превышают) со стоимостью вновь создаваемых сложных технических систем.

Разрушение сосудов и трубопроводов происходит преимущественно по причинам, связанным с неполным знанием спектра эксплуатационных нагрузок, изменения физико-механических свойств металла, механизма возникновения и развития различного рода дефектов, нарушением технологий на стадии изготовления, эксплуатации и ремонта несущих элементов потенциально опасных объектов.

Возникновение крупных аварий и катастроф обусловлено образованием и развитием опасных дефектов, сопровождаемых большими упругими и пластическими деформациями, остаточными напряжениями, способными разрушить конструкцию, привести физико-механические свойства материалов в состояния, снижающие запасы по долговечности при статических и циклических нагрузках в десятки и тысячи раз, при этом запасы по номинальным напряжениям остаются достаточными для обеспечения прочности и соответствуют нормативным.[2]

Несмотря на большое количество работ, посвященных исследованию влияния единичных факторов на прочность и безопасность эксплуатации оборудования за пределами нормативного срока службы, ряд вопросов, остается малоизученным, в частности: характер изменения механических свойств металла оборудования вследствие климатического и эксплуатационного воздействия, особенно, в зоне деформационного дефекта; влияние циклического характера изменения технологических режимов на конструкционную прочность и безопасность технических устройств с дефектами формы.

Так, например, при исследовании [3] напряженно-деформированного состояния цилиндрических и сферических резервуаров с дефектами формы – вмятина при действии внутреннего давления отмечено, что происходит перераспределение напряжений и деформаций в зонах концентрации напряжений и начиная со второго цикла при повторно-статическом нагружении внутренним давлением оболочки с вмятиной усугубляется постоянный размах деформаций. Увеличение относительной глубины вмятины приводит к росту максимальных напряжений  $\sigma_{\max}$ , зона которых смещается от центра вмятины к ее границе, а в вершине вмятины при больших значениях  $h_b/s$  ( $h_b$  – глубина вмятины,  $s$  – толщина стенки) происходит разгрузка; увеличение радиуса вмятины в плане  $r_b$  при постоянной относительной глубине  $h_b/s$  приводит к росту коэффициента концентрации напряжений  $\alpha_\sigma$ ; увеличение радиуса вмятины  $r_b$  приводит к увеличению  $h_b/s$ , при котором максимальные напряжения  $\sigma_{\max}$  действуют в вершине вмятины, а не на ее границе.

В работе специалистов НПО «Техкранэнерго» предложена методика расчета прочности с использованием оригинальных табулированных коэффициентов концентрации напряжений в зоне вмятины, которые зависят не только от радиуса  $r_b$  и толщины стенки сосуда  $s$ , длины, ширины и глубины вмятины  $h_b$ , но и от ее ориентации относительно продольной оси сосуда (угол наклона наибольшей оси вмятины к его образующей). Это позволяет решать более сложные задачи при исследовании общих дефектов, присущих сосудам, получившим механические повреждения.

В серии статей коллектива авторов Казанского государственного технологического университета с помощью компьютерного комплекса ANSYS подтверждены

данные о том, что при упругопластическом деформировании обечаек с дефектами формы напряжения перераспределяются в области концентраторов напряжений и уже после второго цикла нагружения разгрузка и повторное нагружение происходит практически упруго.

Анализ литературных источников указывает на отсутствие единой методики расчета прочности и остаточного ресурса, отработавшего нормативный срок службы оборудования, учитывающей комплекс факторов: наличие деформационного дефекта, изменения механических свойств металла, фактического режима нагружения.

### Литература

- [1] Научно производственная компания «ТехСервис» при Московском государственном горном университете (<http://www.texservis-mggu.ru/expertiza/tehnicheskie-usroistva.html>).
- [2] Пермяков Владимир Николаевич. Предельные состояния, прочность и ресурс сосудов и трубопроводов при штатных и аварийных ситуациях: Дис. ... д-ра техн. наук: 01.02.06 Красноярск, 2001 307 с. РГБ ОД, 71:02-5/293-6
- [3] Мартынович В.Л. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Тюмень 2005г.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫХ ГИДРОФОБИЗИРОВАННЫХ НЕФТЕСОРБЕНТОВ ИЗ ВТОРИЧНОГО ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

Квашева Е.А.

*Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово  
E-mail: kvashevaya@mail.ru*

Довольно сложно оценить роль нефти в современном мире. Она является преимущественным сырьем для изготовления современных синтетических волокон, транспортных топлив. Нефть занимает важное место в структуре топливно-энергетического баланса, нефтепродукты используют в производстве электроэнергии и тепла. Работа с нефтью – неотъемлемая часть современной экономики.

Но в результате не безупречности технологий, оборудования на всех стадиях нефтепользования, от разведки до утилизации ее отходов, в той или иной мере за счет вредных веществ выбросов в атмосферу, в водную среду и на почву, происходит загрязнение окружающей среды, а также отрицательное воздействие на здоровье людей и животных.

Разливы нефти могут возникать и уже появляются практически повсюду. Ни одна стадия нефтепользования не является безотходной, и чем больше объем работ, тем сильнее отрицательное влияние на окружающую среду. Большие потери нефти и нефтепродуктов имеют место при их транспортировке любыми путями. Основные источниками поступления нефтяных углеводородов в Мировой океан представлены в таблице [1].

Для экстренной и эффективной ликвидации чрезвычайных ситуаций наиболее подходит метод адсорбции нефтепродуктов пористыми нефтесорбентами. Преимущество сорбционного метода – возможность удаления загрязнений чрезвычайно широкой природы практически до любой остаточной концентрации независимо от их химической устойчиво-

сти. Сорбент распыляют на поверхность воды и после сорбции загрязнений собирают обратно. Но в стадии сбора отработанного сорбента и заключаются сложность. Применяемые сегодня сорбенты (на основе графита, полимеров, прочих органических веществ):

- разносятся ветром, течением;
- прилипают к оборудованию;
- пачкаются.

**Таблица.** Источники поступления нефтяных углеводородов в Мировой океан

<b>Источник</b>	<b>Млн.т/год</b>
Морская транспортировка (кроме аварийных разливов)	1,83
Аварийные разливы	0,3
Речной сток, включая сточные воды городов	1,9
Сточные воды прибрежной зоны	0,8
Атмосферные выпадения	0,6
Естественные нефтяные скважины	0,6
Добыча нефти в море	0,08
<b>Итого</b>	<b>6,11</b>

Такие негативные особенности сорбентов приводят к тому, что процесс их сбора, после поглощения нефтепродуктов становится очень энергозатратным и длительным, требуя значительных финансовых затрат. Потому актуальным является повышение скорости сбора сорбента, качества работы с ним, снижения трудоемкости процесса в целом, и, соответственно снижения экономических затрат.

На кафедре химической технологии твердого топлива КузГТУ разработана технология создание управляемых сорбентов, в частности магнитоуправляемых. Данное направление в мировой технике развивается сравнительно недавно, но уже сейчас понятно, что применение магнитоуправляемых сорбентов упрощает процесс очистки воды и последующего сбора сорбента, делая его более управляемым [2].

В современном мире процесс «намагничивания» нефтесорбента процесс достаточно дорогой и трудоемкий. Использование магнитной жидкости в работе увеличивает цену нефтесорбента в несколько десятков раз. Но в содержании данного компонента есть множество веществ, которые не обязательны для сорбента.

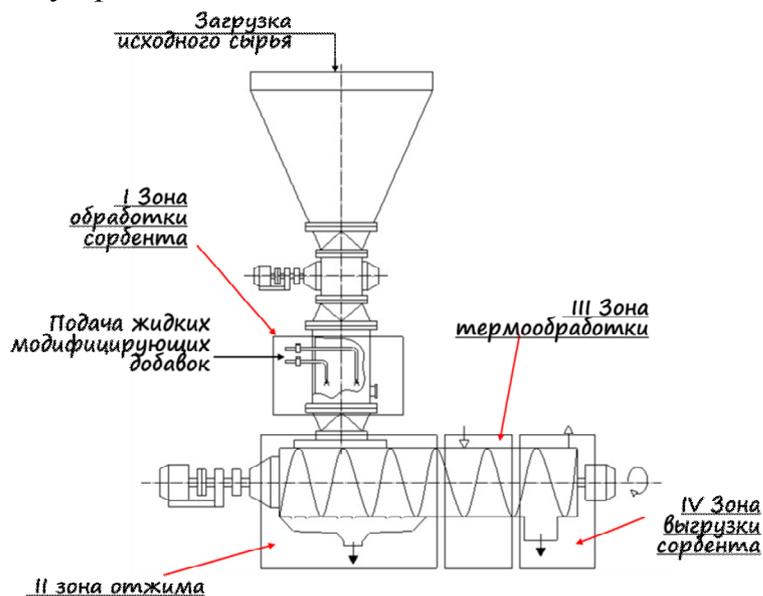
Таким образом, с целью совершенствования нефтесорбента следует разработать единый технологический процесс с положительным экономическим эффектом от внедрения.

На базе кафедры химического технологии твердого топлива КузГТУ более трех лет ведутся разработки по данному проекту. Запатентован состав нефтесорбентов, разработан технологический процесс и получены опытные образцы.

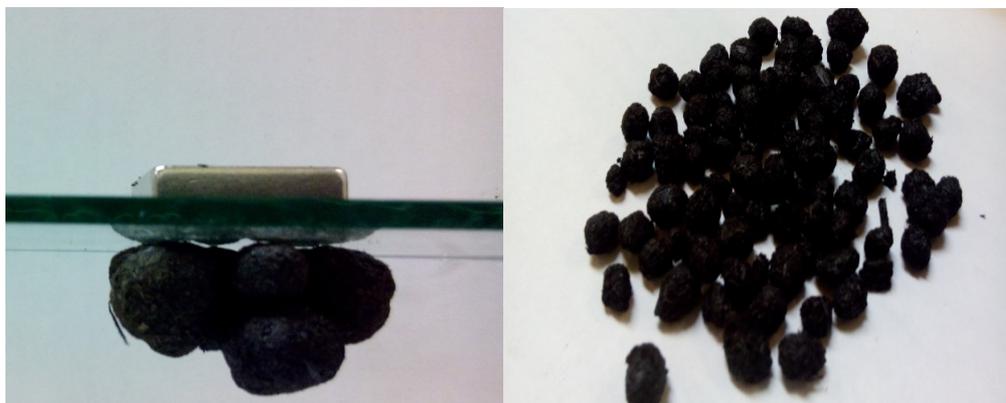
В качестве исходного сырья для получения нефтесорбента предложено использования органической биомассы животноводческих предприятий в смеси с древесными опилками. Изучен процесс пиролиза исходной массы, в результате которого получают термически обработанное сырье для дальнейших испытаний. Исходные образцы биомассы подвергали пиролизу в программируемом режиме подъема температуры. В процессе сухого пиролиза происходит разложение без доступа кислорода отходов на жидкую и газообразную фракции с образованием твердого остатка – карбонизата. Для уменьшения степени угара карбонизата в воздушной среде охлаждение карбонизата проводили инертным газом – CO<sub>2</sub>. При этом эксперимент показал, что без предвари-

тельного охлаждения инертными газами в реакторе-пиролизёре угар карбонизата составляет 6-12 % мас.

В дальнейшем сорбент помещали в установку (рис 1), по результату работы которой, нефтесорбенту придавали магнитные свойства.



**Рис. 1.** Установка для получения магнитоуправляемого гидрофобизированного нефтесорбента



**Рис. 2.** Магнитоуправляемый гидрофобизированный нефтесорбент.

Сорбенты загружают в зону загрузки исходного сырья, затем в I зоне обработки сорбентов происходит подача жидких модифицирующих добавок.

Магнитоуправляемые сорбенты, используемые для сбора нефти с поверхности водоемов и других областях, представляют собой дорогостоящие материалы, изготовление которых требует использования сложных технологических процессов и не менее сложного и дорогого оборудования. Использование именно жидкого материала для пропитки сорбента (и придания ему тем самым магнитных свойств) выгодно отличает предложенный нами способ получения магнитных сорбентов от аналогов. Применение различных магнитных жидкостей (в отличие от магнетита определенного состава) позволяет в широких пределах варьировать свойства получаемого сорбента.

Далее сорбент попадает в II зону отжима, где с помощью центрифуги удаляется избыточная влага и излишки модифицирующей добавки, сливаясь в поддон для повторного использования. С помощью горячего потока воздуха сорбент сушат и в IV

зоне выгрузки нефтесорбента мы получаем готовый продукт, общий вид которого представленный на рис. 2.

Потенциальные потребители – предприятия, выпускающие сорбенты, а также компании, ведущие транспортировку, переработку и хранение нефти и нефтепродуктов: ОАО «Роснефть», ОАО «ЛУКОЙЛ», ОАО «Газпром нефть», ОАО «Сургутнефтегаз». Отдельно можно выделить службы экологического контроля, МЧС [3].

## **Литература**

- [1] Владимиров В.А. Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования, Ж. выпуск 1, том 4, 2014.
- [2] Квашева, Е.А.; Ушакова, Е.С., Ушаков, А.Г., Ушаков, Г.В. Сборник материалов XV Научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири» / Е.А. Квашева. 2014, Кемерово.
- [3] Квашева, Е.А.; Ушакова, Е.С. Инновационный конвент «Кузбасс: образование, наука, инновации» / Е.А. Квашева. 2015, Кемерово.

## **ВРЕДНЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ФАКТОР – ШУМ**

Строганов И.В., Елизаров А.Д.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет.*

*E-mail: acc9494@mail.ru*

Объектом нашего исследования был выбран механический цех по обработке деталей. Цех негативно влияет на здоровье человека как внутри своих стен, так и снаружи.

Для примера негативного воздействия на здоровье человека внутри цеха, мы взяли вредный производственный фактор - шум.

Шумом называют всякий неблагоприятно действующий на человека звук. Обычно шум является сочетанием звуков различной частоты и интенсивности.

Источниками шума на машиностроительных предприятиях являются:

- производственное оборудование (станочное, кузнечнопрессовое и т.п.);
- энергетическое оборудование,
- компрессорные и насосные станции,
- вентиляционные установки,
- трансформаторные подстанции.

Был произведен расчет шума в цехе механической обработки металлов.

Выявлено, что нормируемые параметры шума на работающих местах превышены.

В целях борьбы с этим вредным производственным фактором мы применяем средства защиты от шума. Они подразделяются на средства коллективной защиты (СКЗ) и индивидуальной защиты (СИЗ). В нашем случае используются и СКЗ и СИЗ.

Для СКЗ использовали применение звукопоглощающих конструкций, а для СИЗ индивидуальные шумопоглощающие наушники.

## УТИЛИЗАЦИЯ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ТВЕРДЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Строганов И.В., Елизаров А.Д.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет.*

*E-mail: acc9494@mail.ru*

Цех механической обработки деталей, негативно влияет на окружающую среду, а именно, промышленными отходами загрязняет окружающую среду.

В состав твердых отходов включаются шламы термических, литейных, механических цехов, которые содержат ядовитые соединения цинка, меди, хрома, свинца.

Что бы предотвратить это загрязнение, отходы утилизируют или обезвреживают. Это делают разными методами. Таких методов на данный момент всего четыре:

- обезвреживание промышленных отходов на специализированных полигонах;
- метод фиксации и заключения отходов в капсулы;
- захоронение в глубоких скважинах;
- методы термического обезвреживания.

Изучив и проанализировав способы обезвреживания промышленных отходов, появляющихся при механической обработке, было выбрано, что наиболее эффективной технологией является метод термического обезвреживания, а именно, сжигание твердых бытовых отходов в печи.

Печь Ванюкова тому подтверждение. Это безопасное устройство, поскольку отходящие газы, образующиеся в результате плавки промышленных отходов, практически не содержат диоксинов. Тем самым печь даёт самый быстрый, экологически безопасный результат в обезвреживании промышленных отходов.

## ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ВЕРОЯТНЫХ АВАРИЙ НА ГАЗОКОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЯХ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Павлова Е.В.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет.*

В настоящее время в состав Единой системы газоснабжения Российской Федерации входит 268 компрессорных станций (КС), приблизительно идентичные по техническому оснащению. В процессе эксплуатации КС не исключаются аварии, связанные со взрывами. Из анализа статистических данных по отказам и авариям на КС за последние 10 лет следует, что основными причинами и факторами, способствующими их возникновению, являлись: повышенная вибрация трубопроводов, а также просадки трубопроводов и опор – 49%; дефекты изготовления оборудования (в первую очередь фасонных частей и арматуры) – 23%; погрешности монтажа – 17%; коррозия и износ – 11%. Одними из наиболее потенциально опасными элементами на КС являются нагнетатели и их технологическая обвязка.

В соответствии с требованиями Федерального закона от 21.07.1997 N 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" [<http://docs.cntd.ru/document/9046058>] и других нормативно-правовых документов, ор-

ганизации, эксплуатирующие опасные производственные объекты, к которым относятся КС магистральных газопроводов обязаны разрабатывать план ликвидации аварий (ПЛА) и декларацию промышленной безопасности. В этих документах обязательным является прогнозирование последствий вероятных аварий. В связи с этим, на примере Моркинской КС магистрального газопровода Ямбург - Тула 1 рассчитаны последствия возможных аварий. Для расчета использованы: Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [<http://base.garant.ru/196118/#ixzz3rvJ0Vxpg>] и РД 03-409-01. Методика оценки последствий аварий взрывов топливно-воздушных смесей [[http://snipov.net/database/c\\_4294956133\\_doc\\_4293840653.html](http://snipov.net/database/c_4294956133_doc_4293840653.html)]. В качестве исходных условий, с учетом имеющихся статистических данных, рассматриваются 2 сценария возникновения аварии: а) полная разгерметизация нагнетательного трубопровода, имеющего номинальный диаметр DN=1200 мм и работающего под давлением P=7,5 МПа; б) частичная разгерметизация того же нагнетательного трубопровода с образованием дефектных отверстий, с эффективными диаметрами 12,5 мм, 25 мм, 50 мм и 100 мм.

На первом этапе расчета определяла масса природного газа, выбрасываемого в помещение машинного зала КС. При этом учитывалось наличие скоростного отсекающего трубопровода за время не более 12 сек. Было установлено, что при полной разгерметизации в помещение поступает до 30 334 кг природного газа, а при частичной разгерметизации трубопровода для образования взрывоопасной концентрации газа в помещении КС размером 27x18x12 м требуется 388 кг газа. Такое количество истекает для свища с эффективным диаметром 12,5 мм за 2657 сек., 25 мм за 669 сек., 50 мм за 166 сек. и 100 мм за 34 сек. Следует отметить, что вероятность полного разрушения составляет  $3,2 \times 10^{-9}$  год<sup>(-1)</sup>, а частичной разгерметизации с диаметром 12,5 мм, 25 мм, 50 мм и 100 мм соответственно составляет  $2,4 \times 10^{-7}$  год<sup>(-1)</sup>,  $9,8 \times 10^{-8}$  год<sup>(-1)</sup>,  $3,9 \times 10^{-8}$  год<sup>(-1)</sup>,  $1,7 \times 10^{-8}$  год<sup>(-1)</sup> [<http://base.garant.ru/196118/>].

На втором этапе расчета вычислялось избыточное давление взрыва и импульс фазы сжатия по формулам:

$$\Delta P = P_x \cdot P_0$$
$$I^+ = I_x \cdot P_0^{2/3} \cdot E^{1/3} / C_0$$

Расчеты показали, что в пределах помещения КС создается избыточное давление взрыва  $\Delta P$  равное 39 кПа, независимо от размера отверстия.

На третьем этапе оценивается степень разрушения здания КС. Имеются тяжелые и средние степени разрушения, при этом возможно восстановление здания. [[http://snipov.net/database/c\\_4294956133\\_doc\\_4293840653.html](http://snipov.net/database/c_4294956133_doc_4293840653.html)]. Используя пробит-функцию:

$$P_r = 5 - 0,26 \cdot \ln V$$

определяем вероятность такого события, где она составляет 96%.

Эти данные должны быть использованы при разработке ПЛА и других документов.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТОРГОВОГО КОМПЛЕКСА НА ТРИ ТЫСЯЧИ ЧЕЛОВЕК

Тахаутдинов И.И., Строганов И.В.

*Казанский национальный исследовательский технический университет.*

*E-mail: ildan\_1992@mail.ru*

В целях обеспечения готовности обслуживающего персонала (сотрудников, работников) организаций, а также пожарных подразделений и аварийно-спасательных формирований к действиям по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ (далее – действия по тушению пожаров) разрабатываются документы предварительного планирования действий по тушению пожаров, а именно: планы тушения пожара и карточки тушения пожара.

Целью данной работы является разработка оперативного плана пожаротушения в соответствии с действующей документацией на торговый комплекс.

Разработке плана предшествует подготовительная работа. Тщательно изучаются оперативно-тактические особенности объекта, описания крупных пожаров на аналогичных объектах, оценка возможного времени сосредоточения сил и средств, необходимых для успешного тушения пожара. Затем устанавливается наиболее сложный по обстановке вариант возможного пожара и производят расчет сил и средства, необходимых для его тушения. При обосновании оптимального варианта устанавливаются, место возможного возникновения пожара; максимально возможная площадь с учетом наиболее сложного варианта обстановки; требуемая интенсивность подачи и удельный расход огнетушащих веществ, способы и приемы тушения.

Объект нашего исследования ТЦ «Леруа Мерлен» в г.Казань. ТЦ «Леруа Мерлен» представляет собой одноэтажное здание с 2-х этажной административно-бытовой встройкой, каркасное, без подвала. Здание торгового центра II-ой степени огнестойкости. Площадь здания 17020 кв. м.

К зданию обеспечен подъезд пожарных машин с 4х сторон, а также обеспечены пожарные разрывы до автостоянок. На территории так же имеются помещение дизельного генератора и насосная станция пожаротушения. Водоснабжение торгового центра предусматривается от существующего водопровода D=600 мм. по улице Чистопольская. Наружное пожаротушение здания с расходом воды 44 л/с, предусмотрено от пяти пожарных гидрантов, расположенных на кольцевой сети (D=400 мм.) на расстоянии не более 100 м. от наиболее удаленной части здания. Имеется пожарный водоем объемом 800 м<sup>3</sup>, на расстоянии 80 м.

Для обеспечения эвакуации людей проектом предусматривается противодымная вентиляция, а также предусмотрена система дымоудаления и подпора воздуха при пожаре в лестничные клетки офисной части здания.

Из торгового зала, складской зоны предусматривается дымоудаление с естественным побуждением через шахты на кровле, оборудованные клапанами с электроприводом. Из коридора первого этажа офисной части дымоудаление принято с механическим побуждением.

При пожаре все вентсистемы отключаются, автоматический включается система противодымной вентиляции.

Помещения, защищаемые установками пожаротушения: торговая зона, логистическая зона, административно-бытовая часть. Вид установки: спринклерная система. Система имеет автоматическое включение установки при повышении температуры,

включение через пульт управления на 1 этаже, вручную включать через кнопки находящихся в ящиках пожарных кранов, находящихся в ящиках ПК.

Торговый центр «Леруа Мерлен» характеризуются сосредоточением большого количества материальных ценностей, стройматериала, товара для дома, офисной и домашней мебели и т.д. При пожарах в помещениях возможны:

- горение отделки стен и потолков из полимерных материалов, готовой продукции и стройматериалов, способствующего возникновению новых очагов горения, как по горизонтали, так и на низ лежащих этажах;
- при взрыве ЛВЖ возможны обрушения металлоконструкций, стеллажей и образованием завалов в проходах.

Прогноз развития пожара: в результате короткого замыкания возник пожар в торговом зале в секторе А на первом этаже торгового центра и второй вариант возможного пожара в результате неосторожного обращения с огнем в помещении мужской гардеробной на втором этаже административно-бытовой части. Скорость распространения огня во многом зависит от вида отделочных материалов помещения и загруженности товаром.

Огонь и дым могут распространяться по открытой площади и в соседние помещения на выше расположенный этаж, через короба вентиляции по технологическим проемам с коммуникациями электропитания и т.п.

Наибольшую степень угрозы жизни и здоровью людей представляет высокая температура в очаге пожара, сильное задымление вследствие горения и выделение токсических веществ.

Возможные параметры пожара: площадь пожара ограничена размерами помещения с учетом предела огнестойкости строительных конструкций, а также горючей нагрузкой помещения и действиями персонала по тушению пожара до прибытия подразделений ГПС. Огнестойкость стен, перегородок, перекрытий не менее 60 минут, дверных проемов 15 минут.

Вариант тушения пожара №1. Площадь торгового зала, где произошло возгорание составляет 11016 кв. м., размер в плане 81x136м.

Рекомендуемые средства и способы тушения пожара по расчетам: принимаем на тушение стволы «РС-70» и «РСК-50», для быстрой подачи требуемого расхода воды на тушение принимаю «РС-70», на защиту внутри зала стволы «РСК-50» и на кровлю «РС-70».

Требуемое количество сил и средств для полной ликвидации пожара: на тушение – 4 отделения; на защиту – 4 отделения; на эвакуацию – 1 отделение; резервное звено – 2 отделения.

Вариант тушения пожара №2. На момент пожара посетителей нет, в здании находятся 70 человек из числа рабочего персонала; площадь комнаты составляет 60 м<sup>2</sup>, размер в плане 6 на 10 м.

Сильное задымление, угрожающее людям, занятым в соседних помещениях. Создалась угроза распространения пожара на всю площадь помещения и на соседние помещения 2 этажа ТЦ.

Рекомендуемые средства и способы тушения пожара по расчетам: принимаем на тушение стволы «РС-50» и «РСК-50» для быстрой подачи требуемого расхода воды на тушение, на защиту стволы «РСК-50» с использованием распыленных струй.

Требуемое количество сил и средств: на тушение – 2 отделения; на защиту – 3 отделения; на эвакуацию – 2 отделения; резервное звено – 1 отделение.

До прибытия подразделений ГПС в проведениях экстренной эвакуации нет необходимости, все условия для быстрой самостоятельной эвакуации в здании имеются.

По данным расчета фактический расход воды на тушение пожара больше требуемого (выполняется основное условие локализации пожара  $Q_{\text{ф}} \geq Q_{\text{тр}}$ ) и, следовательно, подразделения, прибывшие по третьему номеру вызова в двух вариантах, смогут локализовать пожар и успешно потушить его в дельнейшем. Расчетное время тушения пожаров в подобных зданиях принимается:  $\tau_{\text{расч.}}$  до 20 мин. (справочник РТП).

Фактическое время работы стволов от водоема  $\tau_{\text{факт.}}$  должно быть меньше  $\tau_{\text{расч.}}$ , который выполняется по данным двух вариантов полученным в ходе расчетов.

Другие расчеты не учитываются, так как зная необходимый напор на насосе и предельную длину подачи огнетушащих веществ можем максимально использовать пожарный автомобиль с заданными исходными данными. Предельные расстояния соответствуют схеме водоснабжения.

Таким образом, по данным полученным в ходе расчетов можно сделать вывод, что для успешного тушения пожара и эвакуации людей на данный объект рекомендуется установить номер вызова №4. Однако, если учесть прибытие на пожар начальствующего состава гарнизона можно оставить существующий вызов №3. В таблице представлен расчет сил и средств для тушения возможного пожара.

**Таблица.** Расчет сил и средств для тушения возможного пожара

Вариант тушения	Прогноз развития пожара	Требуемый расход огнетушащих веществ, л с <sup>-1</sup>	Количество Приборов подачи огнетушащих веществ, шт.	Необходимый запас огнетушащих веществ, л	Количество пожарных машин, основных/специальных шт.	Предельные расстояния для подачи воды, м	Численность личного состава, количество звеньев ГДЗС чел./зв.
1	Горение мебели, товара для дома $S_{\text{п}}=660 \text{ м}^2$ $S_{\text{т}}=376,8 \text{ м}^2$ $V_{\text{л}} - 1 \text{ м/мин}$ Итуш - 0,1л/с	66,2 л/с (2 АЦ)	5 ст. РС-70 на туш. 2 ст. РС-70, 2 ст. РСК-50 на защиту	-	АЦ-8 3-АЛ, УКС, АСО, АР, ПНС.	243 м.	49 чел. 10 зв. ГДЗС
2	Горение мебели, личные вещи $S_{\text{п}}=57 \text{ м}^2$ $S_{\text{п}}=30 \text{ м}^2$ $V_{\text{л}} - 1 \text{ м/мин}$ Итуш - 0,06л/с	3,4 л/с (1 АЦ)	2 ст. РСК-50 на туш. 3ст. РСК-50 на защиту	-	АЦ-8 3-АЛ, УКС, АСО, АР, ПНС	266 м.	33 чел. 7 зв. ГДЗС

## **ИССЛЕДОВАНИЕ НАЛИПАНИЯ ХЛОРИДА КАЛИЯ НА ВНУТРЕННИЕ ПОВЕРХНОСТИ СУШИЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Тимашева Е.Н.

*Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет (Березниковский филиал). E-mail: timascheva@yandex.ru*

Налипание различных материалов на рабочие поверхности аппаратов в промышленности встречается довольно часто. Вследствие этого нарушается стабильная работа оборудования, приводящая к вынужденным периодическим остановкам для чистки. В калийной отрасли подобная проблема также существует, она обусловлена, в основном, кристаллизацией насыщенных растворов солей, находящихся на поверхности металла и твёрдых частиц хлорида калия. Наиболее интенсивно это проявляется в сушильных аппаратах, где при высоких температурах совместно ускоряются процессы испарения влаги и кристаллизации [1].

Хлорид калия (KCl) можно отнести к веществам, склонным к налипанию. В частности, при его сушке проблема налипания присутствует в аппаратах всех типов: барабанных сушилках, трубах-сушилках и сушилках с кипящим слоем, то есть в этих аппаратах процесс организован недостаточно эффективно, с точки зрения устранения адгезии.

Для различных материалов адгезионно-когезионные характеристики отличаются, но эти характеристики могут существенно меняться и для одного материала с изменением его влажности, размера частиц и температуры, контактирующей с ним поверхности [2].

Целью экспериментальных исследований являлось определение значений удельного прилипания хлорида калия к металлическим поверхностям при различных условиях.

Известно, что поверхности аппаратов из углеродистой стали, соприкасающиеся с хлоридом калия, подвержены интенсивной коррозии, как локальной, так и сплошной. Поэтому уже через непродолжительный период эксплуатации продукты коррозии искажают истинную картину прилипания.

В данной работе в качестве образцов для проведения опытов были выбраны основные конструкционные материалы, используемые для изготовления аппаратов в химической промышленности: углеродистая сталь обыкновенного качества марки Ст3, высоколегированная коррозионностойкая сталь марки 12Х18Н10Т, титан ВТ1-0.

Для получения данных о связи удельного прилипания с качеством обработки поверхности часть пластин из указанных материалов, размерами 120×60×8 мм, были отшлифованы, а часть полированы. Для оценки качества поверхности был принят параметр шероховатости Ra [3].

Эксперименты проводились с флотационным хлоридом калия. Частицы хлорида калия фракции –0,1 мм высушивали, затем смешивали с водой в пропорции 9:1 по массе и тщательно перемешивали (таким образом, относительная влажность получаемой смеси составляла 10%).

Из полученной смеси ручным прессом формировались таблетки диаметром 29 мм и массой 6 гр. Таблетки перемещали в сушильный шкаф, нагретый до заданной температуры, и укладывали на поверхность исследуемой пластины. Температуру пластины измеряли хромель-копелевой термопарой, соединённой с пирометром. Сушку

вели при постоянной температуре, до полного высыхания образца, конечная влажность хлорида калия во всех опытах исчислялась сотыми долями процента.

После окончания сушки нагретую пластину с прилипшей к ней таблеткой помещали на специальный стенд (рис. 1) и производили отрыв таблетки.

Отрыв таблетки осуществлялся по касательной к поверхности её контакта с пластиной. Необходимую для отрыва нагрузку прикладывали, подавая воду в ёмкость, подвешенную к таблетке. Конструкция стенда обеспечивала мгновенное прекращение подачи воды при отрыве таблетки.

Очевидно, что в этом случае при отрыве таблетки будут преодолеваются силы прилипания, распределённые по всей площади контакта. Удельное прилипание  $P$  с приложенной силой  $F = m \cdot g$ , будет определяться по формуле:

$$P = (m \cdot g) / S,$$

где  $m$  – масса груза, соответствующая отрыву таблетки, кг;

$S$  – площадь поверхности таблетки,  $m^2$ ;

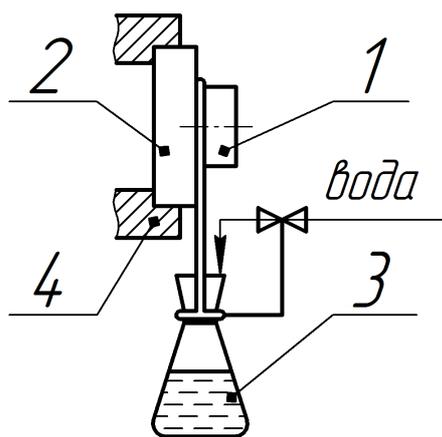
$g$  – ускорение силы тяжести,  $m/c^2$ .

Исходя из методики проведения опыта, удельное прилипание следует рассматривать как силу отрыва (сдвига) одной поверхности относительно другой, отнесённой к единице контактирующей поверхности.

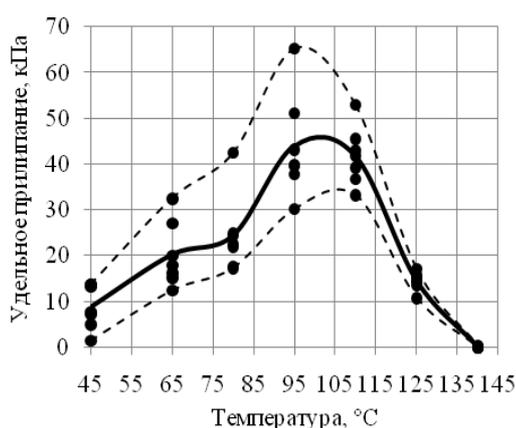
В ходе эксперимента время между извлечением пластины из сушильного шкафа и отрывом таблетки не превышало 3 минут, поскольку, как было установлено, после остывания пластины с таблеткой до комнатной температуры удельное прилипание хлорида калия резко снижается. Это можно объяснить растрескиванием кристаллов, образующихся в месте контакта таблетки и пластины, из-за различия в значениях коэффициентов линейного расширения хлорида калия и материала пластины.

После отрыва таблетки ёмкость с водой взвешивали на весах и рассчитывали удельное прилипание.

В результате экспериментов с полированными пластинами из стали Ст3 установлено, что при увеличении температуры поверхности адгезия хлорида калия изменяется по зависимости, близкой к параболическому (рис. 2).



**Рис. 1.** Схема стенда для отрыва таблеток: 1 – таблетка КСl; 2 – пластина; 3 – ёмкость; 4 – зажимная опора



**Рис. 2.** Зависимость удельного прилипания хлорида калия от температуры, контактирующей с ним поверхности (сталь Ст3,  $Ra = 0,120$  мкм)

На рис. 2 точками показаны значения удельного прилипания, полученные в отдельных опытах, а средние значения при соответствующих температурах соединены

сплошной линией. График показывает, что с увеличением температуры поверхности удельное прилипание увеличивается, достигая максимума в диапазоне температур 95–110 °С. В этой области среднее значение удельного прилипания составляет примерно 45 кПа. При дальнейшем нагреве поверхности удельное прилипание снижается, и при температуре выше 140 °С адгезия исчезает.

При взаимодействии таблеток хлорида калия со шлифованными пластинами из стали Ст3 параболический характер зависимости адгезии от температуры сохраняется, но значения удельного прилипания становятся в несколько раз меньше (рис. 3).

Уменьшение величины удельного прилипания при увеличении шероховатости поверхности связано со снижением эффективной площади контакта поверхностей таблетки хлорида калия и пластины.

При взаимодействии таблеток хлорида калия с полированными пластинами из стали 12Х18Н10Т максимум удельного прилипания наблюдается в том же температурном диапазоне, что и для стали Ст3, хотя интенсивность налипания снижается почти в 10 раз, по сравнению с полированными пластинами из стали Ст3 (рис. 4).

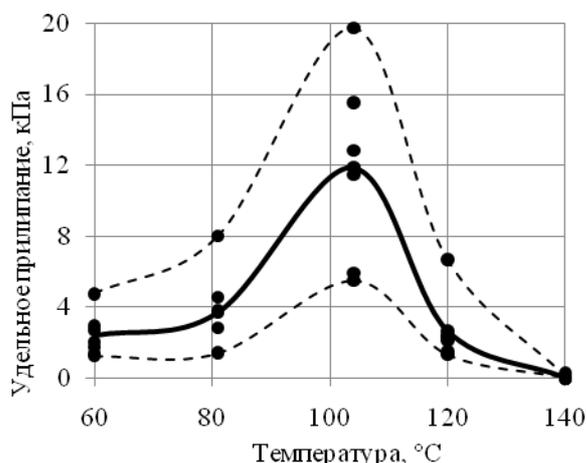


Рис. 3. Зависимость удельного прилипания хлорида калия от температуры, контактирующей с ним поверхности (сталь Ст3, Ra = 0,635 мкм)

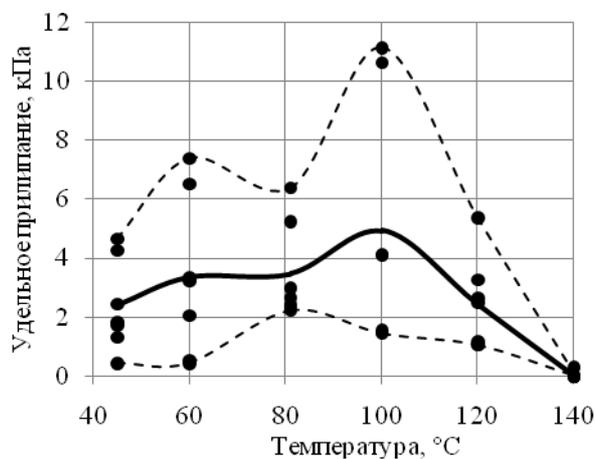


Рис. 4. Зависимость удельного прилипания хлорида калия от температуры, контактирующей с ним поверхности (сталь 12Х18Н10Т, Ra = 0,033 мкм)

Для шлифованных и необработанных пластин из стали 12Х18Н10Т из-за уменьшения эффективной площади контакта поверхностей адгезия отсутствовала. Лишь в отдельных опытах наблюдалось налипание таблеток хлорида калия, но величина удельного прилипания составляла менее 0,6 кПа.

Для пластин из титана ВТ1-0, обладающего значительной коррозионной стойкостью, адгезия хлорида калия отсутствовала во всем исследованном температурном диапазоне.

По результатам работы можно сделать следующие выводы.

1. Интенсивность налипания влажного хлорида калия на металлические поверхности определяется, в основном, величиной их нагрева и степенью кристаллизации раствора солей поверхностного слоя. Удельное прилипание в зависимости от температуры характеризуется кривой, близкой к параболической.
2. С повышением температуры удельное прилипание хлорида калия возрастает, достигая максимума в области температуры кипения насыщенного раствора (108 °С).

- Для полированных пластин из стали Ст3 и 12Х18Н10Т максимальные значения удельного прилипания соответственно составили 65,3 и 11,1 кПа.
3. Для углеродистой стали (Ст3) и легированной стали (12Х18Н10Т) с увеличением температуры поверхности выше температуры кипения насыщенного раствора удельное прилипания хлорида калия снижается и при выше 140 °С практически исчезает.
  4. При взаимодействии хлорида калия с титаном в интервале температур от 45 °С до 200 °С адгезия отсутствует.
  5. Для устранения налипания хлорида калия с повышенной важностью (до 10%) на внутреннюю стенку рекомендуется корпус сушильных аппаратов изготавливать из высоколегированной коррозионноустойчивой стали или титана.

### Литература

- [1] Дерягин Б.В., Кротова Н.А. Адгезия. Исследования в области прилипания и клеящего действия. - М.: Изд. АН СССР, 1949. - 245 с.
- [2] Селиверстов А.А., Тимофеев И.Е., Загидуллин С.Х. К вопросу о налипании материала на рабочие поверхности пневматических сушилок // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. №2. с. 208-211.
- [3] ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики.

## МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛИТЕЛЬНОЕ ВРЕМЯ НАХОДЯЩЕГОСЯ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Гарифуллина Э.Р., Ларин А.А., Валеев С.И.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет.*

*E-mail: aleksej.larin@bk.ru*

Диагностика промышленного оборудования предусматривает оценку его состояния прочностными расчетами. Однако такие расчеты могут считаться надежными лишь при условии достоверного знания марки стали, состояния ее микроструктуры, наличия и характера дефектов, уровень деградации металла в процессе эксплуатации объектов [1].

Даже в пределах норм ГОСТов возможен существенный разброс как химического состава, так и механических характеристик стали. Кроме того, в ходе эксплуатации в металле происходят изменения, связанные с процессом старения, интеркристаллитной коррозии, обезуглероживания, ростом зерен, фазовым наклепом и т.п. Все эти изменения сказываются на эксплуатационной надежности оборудования и могут быть учтены лишь при условии проведения металлографического анализа. Возникает необходимость вырезки образцов для исследования не только при анализе, работающего оборудования, но и оборудования подвергающегося воздействию в процессе эксплуатации факторов, превышающих расчетные параметры (температура, давление, внешние силовые нагрузки), в результате нарушения регламентированного режима работы, в том числе вследствие аварии, или иных техногенных или природных воздействий.

На контролируемом элементе выбирается интересующее исследователя место. В первую очередь исследуются наиболее опасные участки. При периодической диагно-

стике имеет смысл выделить контрольные участки и при каждой проверке измерять на них микроструктуру и твердость металла.

Неопределенность поведения металла при длительной эксплуатации и отсутствия определения его механических свойств, кроме твердости, затрудняет принятие обоснованного решения по ресурсу работы оборудования.

Методы неразрушающего контроля, а в частности толщинометрия, позволяющая определить лишь остаточную толщину контролируемого изделия, не дает оценки изменения механических свойств металла по толщине. Однако условия эксплуатации (давление, температура, свойства среды) могут приводить к изменению структуры и химического состава, что необходимо отслеживать для учета при расчете ресурса.

В данной работе проведен металлографический анализ металла контрольных образцов вырезанных из действующего трубопровода пара и горячей воды диаметром 219х8, изготовленного из стали 20, находящегося более 35 в эксплуатации. Места вырезки образцов были определены по результатам экспертизы промышленной безопасности данного трубопровода.

Металлографический анализ производился на микроскопе OLYMPUS GX41 при увеличении 100-500<sup>x</sup> на шлифах, вырезанных из трубопровода.

Фактическая твердость вырезанных образцов соответствует нормам твердости [2] для данного металла-сталь 20.

Исследованные образцы можно разделить на две группы. Микроструктура металла первой группы состоит из феррита и перлита. Величина зерна соответствует баллу 7-8 по стандартной шкале зернистости. Наблюдается полосчатость микроструктуры балл 3 по шкале 3 [3]. В микроструктуре металла труб из стали 20 полосчатость не должна превышать 3-ого балла [4]. Полученная микроструктура соответствует структуре металла после длительного эксплуатационного старения.

Микроструктура металла второй группы состоит из феррита и перлита. Величина зерна соответствует баллу 7 по стандартной шкале зернистости. Наблюдается полосчатость микроструктуры балл 3 по шкале 3.

В результате исследований показано, что ресурс оборудования (на примере трубопровода пара и горячей воды) имеет тенденцию к снижению в зависимости от свойств материала.

## **Литература**

- [1] Ларин А.А., Валеев С.И., Зайнуллин Ф.Р., Булкин В.А. Деградация свойств металла оборудования установки переработки углеводородного сырья длительное время находящегося в эксплуатации // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т.17, № 20, с. 257-258.
- [2] СО 153-34.0-17.464-03 Инструкция по продлению срока службы трубопроводов II, III, IV категорий;
- [3] ГОСТ 5640-68 Сталь. Металлографический метод оценки микроструктуры листов и ленты.
- [4] ТУ 14-3Р-55-2001 Трубы стальные бесшовные для паровых котлов и трубопроводов. Технические условия.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНИЧЕСКОГО РЕДУКТОРА В МОДУЛЕ APM DRIVE

Халимбаев Р.Р., Кондрашева С.Г., Лашков В.А.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет.*

*E-mail: rushan-khalimbaev@yandex.ru*

Ни одно производство не обходится без разнообразных механизмов, машин, приводов и конструкций. К какой бы отрасли не относилось это производство, вопрос о безопасности стоит на первом месте. И особенно важен этот вопрос, когда речь идет об отрасли химического и нефтехимического производства.

В большинстве случаев в состав привода входит редуктор. На выбор редуктора влияет величина передаваемой нагрузки, необходимое расположение осей, надежность и стоимость. Редуктор, отвечающий перечисленным требованиям, выбирается на основании расчета.

В данной работе выполнен полный расчет редуктора на компьютере с использованием модуля APM Drive, входящий в пакет программ APM WinMachine [1, 2]. Модуль APM Drive предназначен для комплексного расчета и оформления конструкторской документации всех элементов многоступенчатого привода. Процесс проектирования привода вращательного движения произвольной структуры с использованием модуля APM Drive сводится к заданию кинематической схемы в специальном редакторе, вводу начальных и конечных параметров привода в целом, а также анализу и корректировке полученных результатов. Этот модуль работает совместно с модулями расчета зубчатых передач APM Trans, валов и осей APM Shaft и подшипников качения APM Bear, при этом на выходе можно получить все расчетные характеристики, которые обеспечивают перечисленные модули.

Дополнительно при расчетах используется база данных APM Mechanical Data, а для получения сгенерированных соответствующими модулями чертежей проектируемых элементов привода применяется графический редактор APM Graph.

Проектирование редуктора начинается с построения схемы передачи (конической). Назначают входной и выходной валы (рис. 1), выбирают (в зависимости от воспринимаемой нагрузки), предварительно размещают подшипники на валах и задают начальные данные. В качестве начальных данных используют момент на выходе, частоту вращения на выходе, передаточное отношение и долговечность.

Работа в модуле APM Drive предполагает расчет конической передачи, расчет валов и подбор подшипников с использованием дополнительной информации о материале зубчатых колес и валов, виде термической обработки и твердости поверхности. Материал зубчатых колес и валов можно задать, используя интегрированный модуль библиотеки данных. Вычислительные операции производятся по специальной вкладке «Расчет» после выбора типа расчета: проектировочного, по моменту или по ресурсу.

Необходимые результаты расчета выводятся на печать. В работе приводятся основные геометрические параметры конической передачи (рис. 2а), параметры материала (рис. 2б), численные значения силовых факторов, результаты расчета валов и подбора подшипников (рис. 3).

Работа APM Drive завершается передачей расчетной информации в текстовый файл с расширением RTF и автоматической генерацией сборочного чертежа привода и чертежей отдельных деталей, рассчитанных в модулях APM Trans, APM Shaft и спроектированных в модуле APM Graph (рис. 4).

Полученный чертеж необходимо рассматривать как эскизную компоновку с последующей доработкой в модуле APM Graph.

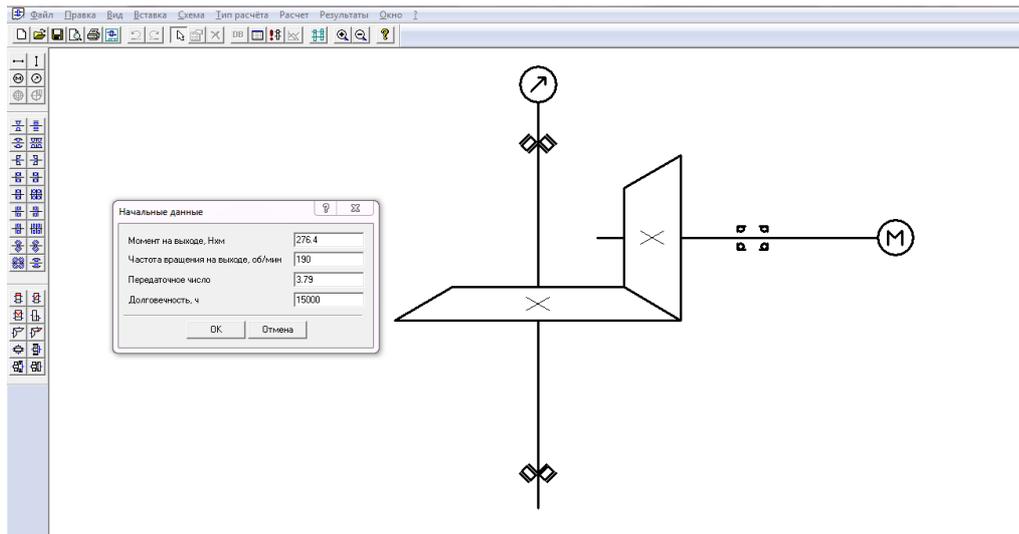
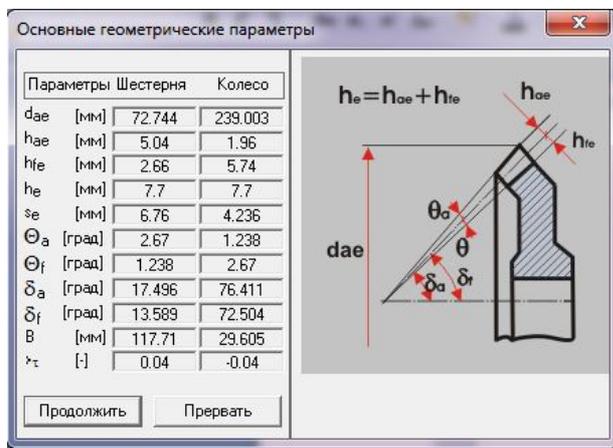
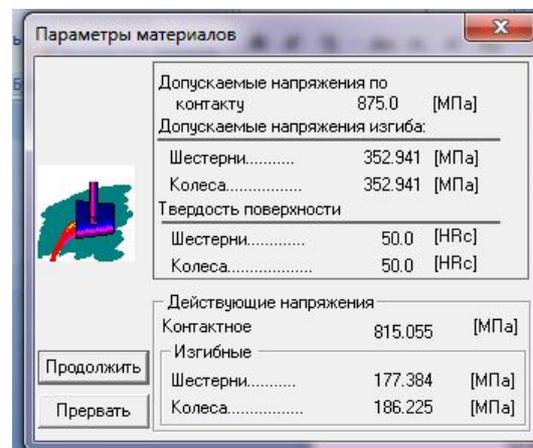


Рис. 1. Построение схемы передачи и ввод исходных данных



а)



б)

Рис. 2. Результаты расчета конической передачи в модуле APM Drive:  
 а – геометрические параметры конической передачи, б – параметры материала

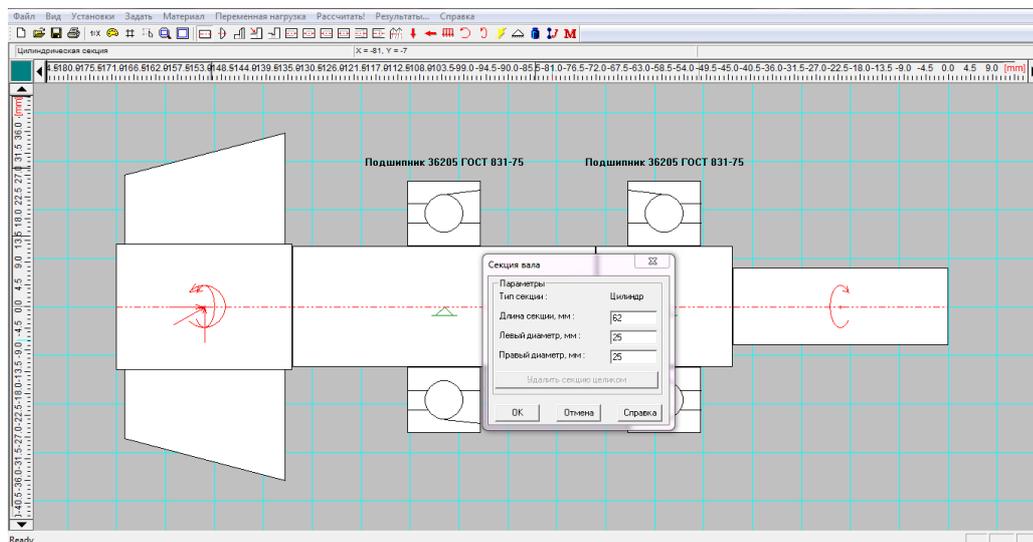


Рис. 3. Графическая интерпретация расчета валов и подбора подшипников

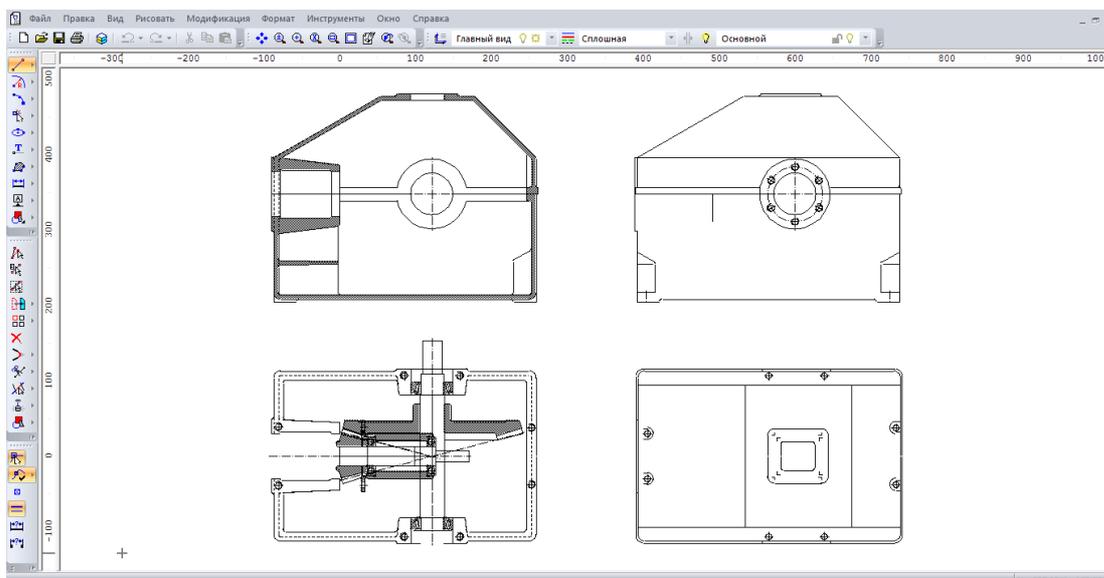


Рис. 4. Пример исполнения сборочного чертежа конического редуктора в модуле APM Graph

## РАСЧЕТ АМПЛИТУДЫ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ФРОНТЕ ВОЗДУШНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

Набиуллин М.И., Вилохин С.А.

Казанский национальный исследовательский технологический университет.

E-mail: marat071993@rambler.ru

Строительство многих промышленных объектов в настоящее время невозможно без учёта их реакции на динамические нагрузки. Исследование их прочности экспериментальными методами без глубокого теоретического анализа не даёт необходимых результатов. Наиболее часто возникающей чрезвычайной ситуацией при производственных авариях, катастрофах и стихийных бедствиях является взрыв газовой смеси. Статья посвящена расчету амплитуды избыточного давления на фронте воздушной ударной волны (ВУВ) в зависимости от массы вещества, участвующего в создании поражающих факторов и расстояния от места взрыва газовой смеси (ГВС) до зданий и сооружений. На сегодняшний день процессы удара и взрыва лежат в основе функционирования многих изделий и технологий. РБ Г-05-039-96 «Руководство по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического действия» Был проведен расчет амплитуды давления на фронте волны для 19 веществ. По рассчитанным значениям были построены диаграммы для наглядного представления об изменении значений  $\Delta P_{\phi}$  с увеличением расстояния  $R$ . Такие же операции были проведены при разных массах вещества, что в дальнейшем итоге удалось получить зависимость амплитуды ударной волны от массы вещества и от расстояния места взрыва.

### Введение

Целью настоящей работы является расчет амплитуды избыточного давления на фронте воздушной ударной волны (ВУВ) в зависимости от массы вещества, участвующего в создании поражающих факторов и расстояния от места взрыва газовой-воздушной смеси (ГВС) до зданий и сооружений.

Строительство многих промышленных объектов в настоящее время невозможно без учёта их реакции на динамические нагрузки. Исследование их прочности экспериментальными методами без глубокого теоретического анализа не даёт необходимых результатов.

Наиболее часто возникающей чрезвычайной ситуацией при производственных авариях, катастрофах и стихийных бедствиях является взрыв газовой-воздушной смеси. Поражающее действие при взрыве производит ударная волна, механическое воздействие на предмет.

Существование высокопроизводительных вычислительных средств, наличие необходимого оборудования математического и программного обеспечения позволяют считать математическое моделирование одним из наиболее эффективных способов оценки прочности, прогнозирования долговечности и оптимизации конструкций и технологических процессов производства, в основе которых лежат процессы удара и взрыва.

Как следствие, наряду с развитием научно-технического прогресса в промышленности имеет место устойчивая тенденция роста числа аварий со все более тяжёлыми экологическими, экономическими и социальными последствиями. Безопасность, таким образом, выдвигается в число основных характеристик промышленных объектов.

### **Расчет по методике руководства РБ Г-05-039-96**

После проведения расчетов в программе MS Excel по обоим методикам предпочтение было отдано РБ Г-05-039-96 «Руководство по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического действия», так как в этом руководстве приводится расчет амплитуды избыточного давления на фронте ударной волны  $\Delta P_{\phi}$  зависящий от расстояния  $R$  от облака ГВС.

В руководстве представлен перечень часто используемых горючих компонентов ГВС (19 веществ). Для всех этих веществ был проведен расчет по приведенной в руководстве методике. В табл. 1 представлены значения амплитуды избыточного давления на фронте ВУВ  $\Delta P_{\phi}$  для двух групп веществ: горючие газы и легковоспламеняющиеся жидкости, при 10 кг вещества и на расстоянии 22 м.

Затем был проведен отдельный перерасчет полученных значений  $\Delta P_{\phi}$  в зависимости от  $R$ . В качестве примера приводится расчет  $\Delta P_{\phi}$  для водорода, так как в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» была найдена статья с ссылкой на экспериментальные значения амплитуды избыточного давления при детонации 10 кг водородно-воздушной смеси [6].

До недавнего времени существовало глубокое убеждение, что разрабатываемые технические системы безопасности должны быть направлены на то, чтобы полностью исключить, предотвратить или, по крайней мере, локализовать наиболее опасные воздействия, вызванные так называемой «максимально возможной (из физических соображений) проектной аварией». Поэтому основное внимание было направлено на то, чтобы обезопасить персонал предприятия и население, проживающее вблизи него, именно от такого типа аварий.

На сегодняшний день процессы удара и взрыва лежат в основе функционирования многих изделий и технологий. Этим объясняется интерес к изучению этих процессов и актуальность выбранной темы. В настоящее время сформированы представления об основных закономерностях процессов удара и взрыва, накоплен большой объем экспериментальных данных, разработаны математические модели, отражающие многие закономерности этих процессов.

Проанализированы два документа. Первый – это РБ Г-05-039-96 «Руководство по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического действия» [1]. Для достижения наших целей были рассмотрены пункт 5 «Основы для определения параметров ВУВ» и приложение 5 «Параметры ВУВ при взрыве облака ГВС или топливно-воздушной смеси (ТВС)» руководства.

Второй – Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 12.3.047-2012 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля». Для изучения пожарной опасности технологического процесса необходимо было расчетным путем определить избыточное давление при сгорании ГВС. Расчет которого приводится в пунктах А.1 и А.2 приложения А «Метод расчета избыточного давления, развиваемого при сгорании газо-, паро- и пылевоздушных смесей в помещении» национального стандарта.

Табл. 1.

№	Горючее (топливо)	Амплитуда избыточного давления на фронте ВУВ $\Delta P_{\phi}$ , кПа
Горючие газы		
1	Водород	3,524361437
2	Метан	8,956449743
3	Этан	8,570502654
4	Пропан	8,59011716
5	Бутан	8,499374864
6	Ацетилен	8,013287691
7	Этилен	8,38030653
8	Пропилен	8,382139598
9	Бутилен	8,383610355
10	Аммиак	7,208003441
Легковоспламеняющиеся жидкости		
11	Бензол	2,474050416
12	Толуол	2,546275367
13	Циклогексан	2,637812905
14	Метанол	1,989579037
15	Этанол	2,213595174
16	Ацетон	2,157778624
17	Эфир диэтиловый	2,374520298
18	Дихлорэтан	1,75006001
19	Бензин	3,114491538

Результаты значений амплитуды избыточного давления на фронте ВУВ  $\Delta P_{\phi}$  для водорода в зависимости от расстояния R от облака ГВС, экспериментальные значения  $\Delta P_{\phi}$  и значения по новой выведенной формуле, представлены в табл. 2.

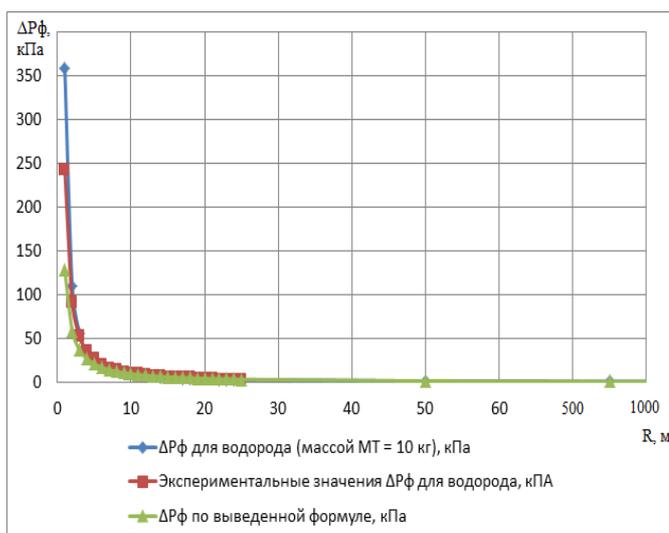
По рассчитанным значениям были построены диаграммы для наглядного представления об изменении значений  $\Delta P_{\phi}$  с увеличением расстояния R. Для примера используем диаграмму для водорода, представленную на рис. 1.

**Табл. 2**

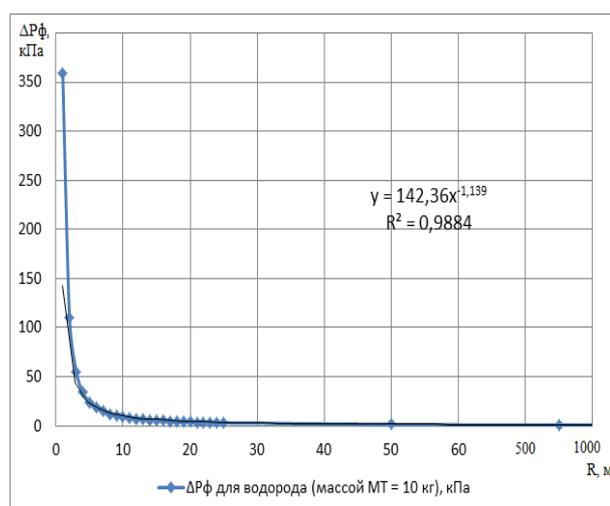
Расстояние от центра возможного места взрыва до объекта R, м	$\Delta P_{ф}$ для водорода (массой МТ = 10 кг), кПа	Экспериментальные значения $\Delta P_{ф}$ для водорода, кПа	$\Delta P_{ф}$ по выведен- ной формуле, кПа
1	359,188	242,4	128,033
2	110,553	90,9	58,838
3	55,49	52,52	37,337
4	34,026	35,35	27,039
5	24,12	27,27	21,052
6	18,294	20,2	17,158
7	14,65	16,16	14,434
8	12,177	14,14	12,426
9	10,4	12,12	10,888
10	9,065	10,605	9,674
11	8,028	9,393	8,693
12	7,2	8,383	7,885
13	6,525	7,575	7,208
14	5,964	7,171	6,633
15	5,491	6,363	6,139
16	5,086	5,858	5,71
17	4,737	5,454	5,335
18	4,432	5,151	5,003
19	4,164	4,545	4,709
20	3,927	4,343	4,446
21	3,714	3,851	4,209
22	3,524	3,441	3,995
23	3,352	3,031	3,8
24	3,196	2,622	3,623
25	3,053	2,212	3,461
50	1,443		1,59
75	0,945		1,009
100	0,702		0,731
150	0,463		0,463
200	0,346		0,335
250	0,276		0,261
300	0,229		0,213
400	0,172		0,154
500	0,137		0,12
600	0,114		0,097
700	0,098		0,082
800	0,085		0,07
900	0,076		0,062
1000	0,068		0,055

Для каждого вещества на полученные кривые были наложены линии тренда (геометрическое отображение средних значений анализируемых показателей, полученное с помощью какой-либо математической функции), найдены описывающие их уравнения с характеризующими эти уравнения величинами достоверности аппрокси-

мации  $R^2$  (приближения). В качестве примера приводится диаграмма по водороду, представленная на рис. 2.



**Рис. 1.** Зависимость амплитуды избыточного давления на фронте ВУВ  $\Delta P_{\phi}$  от расстояния  $R$  для водорода



**Рис. 2.** Зависимость амплитуды избыточного давления на фронте ВУВ  $\Delta P_{\phi}$  от расстояния  $R$  для водорода с линией тренда и описывающим ее уравнением

Такие же операции были проведены при массах 25 кг, 50 кг, 75 кг, 100 кг, 150 кг, 200 кг, 250 кг, 300 кг, 400 кг, 500 кг, 600 кг, 750 кг, 850 кг, 950 кг и 1000 кг. Были получены уравнения типа  $\Delta P_{\phi} = A \cdot R^{-B}$ . Для 10 кг водорода это уравнение имеет вид:

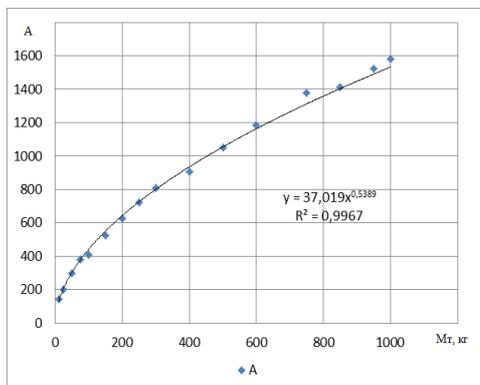
$$\Delta P_{\phi} = \frac{142,36}{R^{1,139}} \quad (1)$$

Чтобы достичь более точного результата в полученном уравнении должна присутствовать масса водорода  $M_T$ . Для этого была установлена зависимость коэффициентов  $A$  и  $B$  от массы  $M_T$ , при различных ее значениях, указанных выше. Значения коэффициентов  $A$  и  $B$  и массы  $M_T$  были сведены в таблицы, по которым строились диаграммы. На полученные кривые нанесли линии тренда и нашли описывающие их

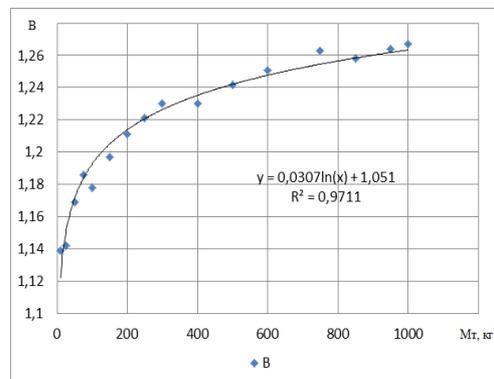
уравнения. Диаграммы зависимости коэффициентов А и В и массы  $M_T$  представлены на рис. 3 и 4 соответственно.

Полученные значения коэффициентов А и В подставили в уравнение  $\Delta P_{\phi} = A \cdot R^B$ . В итоге получили формулу для определения амплитуды избыточного давления на фронте ВУВ  $\Delta P_{\phi}$  для водорода зная расстояния R и массы  $M_T$ :

$$\Delta P_{\phi} = \frac{37,019 \cdot M_T^{0,5389}}{R^{(0,0307 \cdot \ln(M_T) + 1,1051)}} \quad (2)$$



**Рис. 3.** Зависимость коэффициентов А от массы  $M_T$  с линией тренда и описывающим ее уравнением



**Рис. 4.** Зависимость коэффициентов В от массы  $M_T$  с линией тренда и описывающим ее уравнением

Результаты расчета по формуле 2 представлены в табл. 2. Зависимость значений  $\Delta P_{\phi}$ , вычисленных по формуле 2, от R изображенная на рис. 1.

По диаграмме на рис. 1 и по табл. 2 видно, что экспериментальные значения, значения, рассчитанные по методике руководства и значения, полученные с помощью выведенной формулы 2 практически совпадают.

## Выводы

Погрешность результатов по полученному уравнению не превышает 20 %, таким образом полученное уравнение для определения  $\Delta P_{\phi}$  в зависимости от R и  $M_T$  может быть использовано наравне с уравнениями, приведенными в методике руководства РБ Г-05-039-96.

## Литература

- [1] РБ Г-05-039-96. Руководство по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического действия. М.: НТЦ ЯРБ Госатомнадзора России, 2000.
- [2] Насртдинов Л.Р., Вилохин С.А. Методики определения нагрузок, воспринимаемых строительными конструкциями в промышленных помещениях, 2014, №16, с.182-186.
- [3] Гусельщикова Ю.О., Вилохин С.А., Поникаров С.И. Исследование воздушной ударной волны. Вестник казанского технологического университета, 2013, №21, с.229-231.
- [4] Гусельщикова Ю.О., Вилохин С.А., Поникаров С.И. Исследование эффективных параметров воздушной ударной волны. Вестник казанского технологического университета, 2014, №9, с.81-83.
- [5] Алексеев С.Г., Авдеев А.С., Барбин Н.М., Тимашев С.А., Гурьев Е.С. Методы оценки взрывопожароопасности топливоздушных смесей на примере керосина марки РТ. I. РБ Г-05-039-96. Пожаровзрывобезопасность, 2010, Т. 19, №5, с.37-47

- [6] Гамера Ю.В., Овчаров С.В. Модель образования и распространения первичной воздушной ударной волны при аварии оборудования, находящегося под высоким давлением. Безопасность труда в промышленности, 2012, №12, с.74-78

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ БЛОКА РЕКТИФИКАЦИИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ

Минныразиев И.И., Рачковский С.В.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет.*

*E-mail: ilnur10x@mail.ru*

Химическая промышленность является крупнейшим потребителем энергии. На ее нужды тратится около 15 % всех энергоресурсов страны. В то же время полезное использование энергии в химической промышленности не превышает 35% [1,2].

Энергосбережение в настоящее время является одной из приоритетных задач эффективного развития промышленности. Поскольку процессы ректификации очень энергоемкие и наиболее распространенные массообменные процессы в химической технологии, то их энергоэффективность часто определяет экономику производства в целом.

Ректификация является одним из основных процессов химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей и смежных отраслей промышленности. На долю ее приходится громадные капиталовложения и энергозатраты. В то же время ректификация имеет один из наиболее низких энергетических КПД среди всех процессов химической технологии [4]. Поэтому рациональное аппаратное оформление процессов ректификации и снижение затрат энергии на их осуществление является актуальной задачей.

Важным этапом в проектировании оптимальных схем разделения является моделирование процесса ректификации и определение оптимальных параметров моделей. Расчет процесса ректификации основан на расчете парожидкостного равновесия разделяемой смеси. В литературе известно много моделей позволяющих делать это. Однако все подобные модели требуют знания точного состава смеси и свойств компонентов.

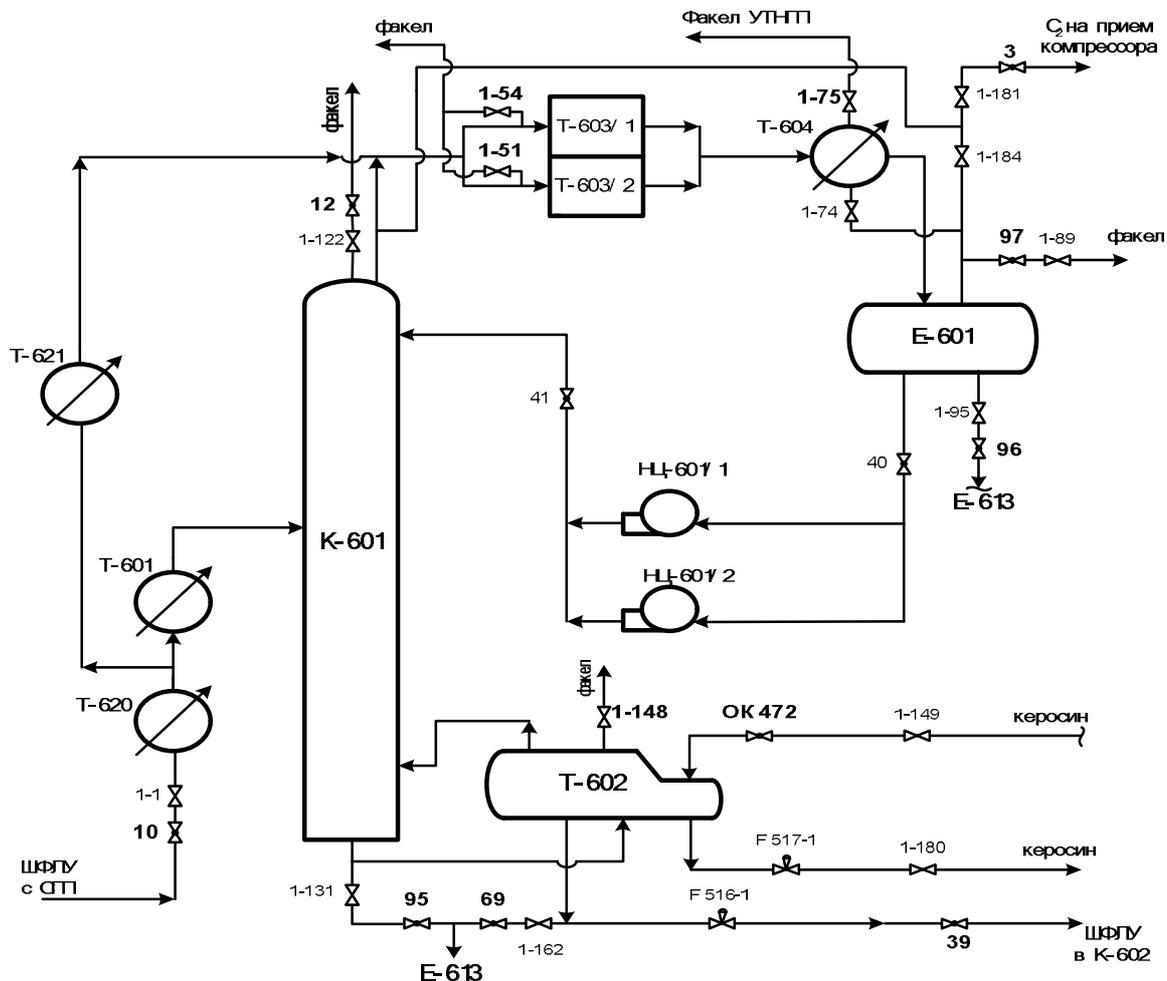
При ректификации сложных смесей с не идентифицированными компонентами возникают большие проблемы с описанием парожидкостного равновесия и, как следствие, с термодинамическим расчетом отдельных колонн и системы в целом. Поиск путей расчета ректификации смесей с ограниченными сведениями о составах и парожидкостном равновесии представляет большой практический интерес.

В литературе описано большое количество способов сокращения расходов тепла в процессах ректификации. Выбор того или другого способа энергосбережения возможен только после их детального анализа применительно к конкретной колонне и установке. В этой связи проблема энергосбережения неразрывно связана с изучением методик анализа химико-технологических систем. Использование их позволяет достичь главной цели - максимального снижения потребления энергоресурсов при сохранении или увеличении выработки продукции заданного вида и качества.

По литературным данным все способы энергосбережения разделить на два вида. Первый вид методов экономии тепла связан с изменением режима работы и управления аппаратами, а также с повышением эффективности работы отдельных колонны. Второй вид способов связан с изменением схемы установок ректификации. Второй

подход требует определенных капиталовложений. Однако, как правило, эффект от реализации оказывается положительным [5,6].

Объектом исследования является блок деэтанзации который входит в состав установки ГФУ-300, находящийся в г. Альметьевске Управления «Татнефтегазопереработка». Этот блок предназначен для извлечения этана из широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ). Принципиальная технологическая схема рассматриваемого блока представлена на рисунке.



**Рисунок.** Принципиальная технологическая схема блока деэтанзации:

К-601 –ректификационная колонна (деэтанизатор); Е-601 – рефлюксная емкость;  
Т-602 – испаритель; Т-601 – теплообменник сдвоенный; Т-620, Т- 621, Т-604 – теплооб-  
менник; Т-603 – аппарат воздушного охлаждения; НЦ-601 – насос орошения

Одним из способов сокращения расхода тепла на ректификацию является определение оптимальных параметров процесса [3]. Для того чтобы решить вопрос об оптимальных условиях проведения процесса, должен быть сформулирован критерий оптимальности, который принимает экспериментальные значения. В противном случае следует говорить о более или менее выгодных условиях работы установки. Рассмотрим несколько методов по уменьшению энергозатрат, для достижения оптимальной работы блока.

## 1. Оптимальное флегмовое число

Одной из важных характеристик процесса ректификации является флегмовое число  $R$ . От величины  $R$  в той или иной степени зависят все параметры колонны: ее высота, диаметр, количество контактных элементов, эффективность их работы, потребление энергии.

Существует обратная связь между числом единиц переноса (ЧЕП) и флегмовым числом. Чем больше  $R$ , тем меньше значение ЧЕП, а значит, требуется меньше контактных устройств для достижения заданной степени разделения. Однако увеличение флегмового числа приведет к увеличению расхода жидкости по колонне. В конечном итоге для работы колонны потребуется большее количество тепла [6].

Вопрос о выборе рабочего флегмового числа решается путем нахождения его оптимального значения ( $R_{\text{опт}}$ ). При  $R_{\text{опт}}$  имеет место компромисс между количеством контактных устройств (размером колонны) и потреблением тепла.

Существует несколько методов нахождения  $R_{\text{опт}}$ . В [7, 8] рекомендуется выбирать рабочее флегмовое число в соответствии с формулой:

$$R = 1,3 \cdot R_{\text{мин}} + 0,3 \quad (1)$$

где  $R_{\text{мин}}$  – минимальное флегмовое число.

В [9] оптимальное значение флегмового числа определяется путем нахождения минимального значения критериев:

$$N_{\text{тс}}(R + 1) \quad \text{или} \quad N_{\text{ог}} \cdot (R + 1) \quad (2)$$

где  $N_{\text{ог}}$  – число единиц переноса;  $n_{\text{тс}}$  – число теоретических ступеней.

Критерии (2) косвенно характеризуют как эксплуатационные затраты, так и капитальные вложения. В них  $N_{\text{ог}}$  или  $n_{\text{тс}}$  характеризуют размеры колонны (капитальные вложения), а  $(R+1)$  потребление тепла (эксплуатационные затраты).

Указанные выше методы по определению коэффициента избытка флегмы слишком приближены и не отвечают требованиям энергосбережения в процессах ректификации. Лучшим критерием оптимальности следует считать экономический, а именно приведенные затраты [4].

## 2. Оптимальные давление и температура колонны

От условий проведения процесса ректификации – давления  $P$  и температуры  $T$  зависят все основные показатели, в том числе и расход энергии. Поэтому выбор наиболее выгодных условий входит в рамки проблемы энергосбережения.

Понижение температуры и давления вызывает, как правило, увеличение относительной летучести, которое, в свою очередь, позволяет сократить потребности в орошении. Это приводит к уменьшению расхода энергии [6]. Кроме того, понижение температуры позволяет использовать для обогрева испарителя теплоноситель с более низким температурным потенциалом, а, следовательно, и более дешевый. Однако для охлаждения конденсатора теперь потребуется хладагент с более низкой температурой, что в ряде случаев может сделать понижение давления и температуры нецелесообразным [4,6].

В большинстве случаев уменьшение давления и температуры ведет к росту движущей силы процессов массообмена. Однако эти параметры влияют не только на парожидкостное равновесие. От их значений существенно зависит гидродинамика и ки-

нетика массообмена, которые, в свою очередь, определяют гидравлическое сопротивление аппарата ( $\Delta P$ ) и высоту единиц переноса (ВЕП) [6].

В [7] указывается, что пропускная способность тарельчатых колонн пропорциональна давлению в степени 0,5. Это значит, что при понижении давления потребуется колонна большего диаметра. С понижением давления в тарельчатых колоннах наблюдается увеличение гидравлических потерь  $\Delta P$ . Все сказанное, правда в меньшей степени, имеет место и при использовании насадочных аппаратов [6].

Следует учитывать тот факт, что изменение давления и температуры по-разному влияет на коэффициенты массоотдачи в паровой и жидкой фазах. Если большая часть сопротивления массообмену сосредоточена на стороне жидкой фазы, то понижение температуры приводит к снижению скорости массообмена вследствие снижения коэффициентов диффузии и возрастания вязкости жидкой фазы. Если основное сопротивление массообмену сосредоточено на стороне паровой фазы, то влияние давления и температуры противоположно [6].

Поэтому, в каждом конкретном случае следует учитывать сложное влияние давления и температуры на протекание процессов разделения. В некоторых случаях эта зависимость имеет экстремальный характер и проходит через максимум.

Сложность выбора условий ректификации очевидна. Задача относится к нахождению оптимума, при котором колонна без ущерба для ее разделяющей способности будет иметь низкое энергопотребление. Во многих случаях эта задача решается экспериментальным путем [6].

Выбор оптимальных условий работы колонны еще более усложняется необходимостью комплексного анализа, учитывающего связи её с другими узлами технологического процесса [4]. В этом случае неэффективная работа одной колонны может быть оправдана при анализе всего комплекса.

### **3. Установка дополнительных или более эффективных контактных устройств**

Уменьшение потребления энергии ректификационной колонной можно достичь увеличением числа контактных устройств и повышением их эффективности. Установка большего количества и более эффективных контактных устройств приведет к увеличению разделяющей способности колонны. В этом случае продукты заданной чистоты можно получать при меньшем расходе орошения, а это, в свою очередь, ведет к экономии энергии [4].

Однако установка большего количества контактных устройств ведет к увеличению перепада давления и температур между верхом и низом колонны ( $\Delta P$ ) из-за увеличения гидравлического сопротивления. Это, в свою очередь, может потребовать более дорогих теплоносителей для испарителя и конденсатора колонны [7].

Целесообразность установки дополнительных и более эффективных контактных устройств определяется на основе анализа рентабельности данной реконструкции. В этом случае приходится пересчитывать колонну как новую.

### **4. Энергосберегающие схемы ректификации**

Уменьшение энергозатрат на разделение может быть достигнуто применением рекуперации тепла, смешением потоков, использованием схем со связанными и частично связанными тепловыми потоками, а также схем с разделяющими агентами.

Уменьшение энергозатрат достигается за счет некоторого усложнения разделительного процесса, увеличения числа аппаратов и усложнения схем регулирования.

### Литература

- [1] Лейтес И.Л., Сосна М.Х., Семенов В.П. Теория и практика химической энерготехнологии. М.: Химия, 1986, - 280 с.
- [2] Гамаев И.П., Костерин Ю.В. Экономия тепла в промышленности. М.: Энергия, 1979. - 96 с.
- [3] Губанов Н.Д., Ульянов Б.А. Методы термодинамического анализа энерго - химико-технологических систем. Изд. Иркутского политехнического института, 1987, -71 с.
- [4] Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А., Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии, изд. 10-е, М., Химия, 1987. - 576 с.
- [5] Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. Изд. 3-е. В 2-х кн.: Часть 2. Массообменные процессы и аппараты. - М.: Химия, 2002 - 368 с.
- [6] Зельвенский Я.Д. Пути энергосбережения при разделении смесей ректификацией //Хим.пром., 2001, №5, с. 21-27.
- [7] Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1971. -784 с.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ МЕТОДИКИ ПО ПРОГНОЗИРОВАНИЮ РОЗЛИВА НЕФТЕПРОДУКТОВ ПО ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Вилохина П.В., Алексеев В.А.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет.*

*E-mail: V\_polina1@mail.ru*

В настоящее время, в связи с большим количеством изношенного трубопроводного транспорта, остро стоит вопрос о обеспечении экологической безопасности на акваториях. Незначительные повреждения подводного трубопроводного транспорта с потерей герметичности, ведет к большим и тяжелым экологическим последствиям. Количество вытекших нефтепродуктов может оказаться значительным и зависит от места и размеров обнаружения, а также от времени его обнаружения. В связи с этим, создание методики по прогнозированию разлива нефтепродуктов на водной поверхности, становится актуальной задачей.

В представленных ранее работах приведены результаты экспериментальных исследований, проведенных на установке по исследованию разливов нефти, нефтепродуктов и других опасных жидкостей на водной поверхности, смоделированы в пакете прикладных программ "ANSYSFLUENT".

При рассмотрении процесса были приняты некоторые допущения:

- используется мультифазная модель с 3 фазами:
- 1 фаза – вода; 2 фаза – нефтепродукт; 3 фаза – воздух;
- отсутствует теплообмен между жидкостями;
- течение жидкости приняты ламинарным;

- испарение дизельного топлива с поверхности разлива не учитывается.
- волнообразование при ветре не учитывалось.

Математическая составляющая методики, представляет собой систему дифференциальных уравнений, описывающих трехмерное нестационарное движение жидкости (1). При этом учитываются такие свойства жидкости как вязкость и плотность. Методика включает в себя уравнение неразрывности, уравнения движения жидкости [1].

$$\begin{aligned}
 -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 w_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_x}{\partial z^2} \right) &= \rho \left( \frac{\partial w_x}{\partial t} + w_x \frac{\partial w_x}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_x}{\partial y} + w_z \frac{\partial w_x}{\partial z} \right) \\
 -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 w_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_y}{\partial z^2} \right) &= \rho \left( \frac{\partial w_y}{\partial t} + w_x \frac{\partial w_y}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_y}{\partial y} + w_z \frac{\partial w_y}{\partial z} \right); \quad (1) \\
 -\rho g - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left( \frac{\partial^2 w_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_z}{\partial z^2} \right) &= \rho \left( \frac{\partial w_z}{\partial t} + u_x \frac{\partial w_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial w_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial w_z}{\partial z} \right); \\
 \frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} + \frac{\partial w_z}{\partial z} &= 0,
 \end{aligned}$$

где  $\rho$  – плотность жидкости,  $w$  – вектор скорости жидкости в точке с координатами  $(x,y,z)$  в момент времени  $t$ ,  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости.

На границе раздела фаз жидкость – воздух задавалось условия испарения жидкости (2) [1].

$$\text{При } z=h_{\text{жид}} \quad w_z = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_n \quad (2)$$

где  $\eta$  – коэффициент, зависящий от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения,  $M$  – молярная масса,  $P_n$  – давление насыщенного пара.

Существенное влияние на поведение пятна из нефтепродуктов оказывает сила поверхностного натяжения. Сила поверхностного натяжения становится существенной, когда величина силы поверхностного натяжения становится равной градиенту давления. Такое условие наступает, когда толщина слоя нефтепродукта  $h$  в процессе растекания пятна достигает величины (3).

$$h_{kv} = \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho - \rho_H)}}, \quad (3)$$

где  $\sigma$  – суммарное поверхностное натяжение, равно  $\sigma = \sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3$ ,  $\sigma_1$  – поверхностное натяжение на границе раздела вода-воздух,  $\sigma_2$  – межфазное поверхностное натяжение на границе раздела вода-нефть,  $\sigma_3$  – поверхностное натяжение на границе раздела нефть-воздух.

Создание геометрии расчетной области проводится в модуле DesignModeler, а моделирование процесса разлива – в решателе программного комплекса по расчету задач гидрогазодинамики, в нашем случае Fluent [3].

## Литература

- [1] Алексеев В.А., Алексеев С.В., Миннегалеев А.Н., Ахметов Р.Р. Моделирование процесса разлива нефти и нефтепродуктов при разгерметизации на подводных переходах магистральных нефтепродуктопроводов. / Вестник Казанского технологического университета, 2011, №8, с. 172-177.
- [2] ГОСТ Р 12.3.047-98 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля (принят постановлением Госстандарта РФ 03.08.1998 г. № 304) – М.: Изд-во стандартов. – 86 с.
- [3] Поникаров С.И., Алексеев В.А., Вилохина П.В. Компьютерное моделирование разлива дизельного топлива по водной поверхности / Вестник Казанского технологического университета, 2015, №15, с. 204-207.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ ЭЛЕМЕНТОВ СОСУДОВ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ НА ОСНОВЕ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Сабитов М.Х.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет.*

*E-mail: mh\_post@mail.ru*

В основу нормативного метода расчетов большинства элементов сосудов принят метод расчета по предельным нагрузкам [1]. Для удобства расчетов коэффициенты запаса прочности по предельным нагрузкам учитываются при определении допускаемых напряжений. Для отдельных элементов сосудов (например, фланцевых соединений) или условий нагружений, например, при переменных нагрузках, расчет ведется по допускаемым напряжениям.

В настоящей статье на примере патрубковых зон обечаек рассмотрен подход к оценке предельной нагрузки конструктивных элементов сосудов, основанный на анализе изменения энергии деформации при упруго – пластическом деформировании. Предполагается применять подход к решению как стандартных задач, так и в случаях оценки статической прочности дефектных и нестандартных элементов оборудования.

В механике деформируемого тела известен постулат Друкера, устанавливающий принцип максимума работы пластической деформации. Если рассматривать формулировку постулата Друкера на примере одноосного напряженного состояния растягиваемого образца, из определения невозможной работы, затраченной на деформацию единицы объема образца следует условие:

$$d\sigma d\varepsilon_p > 0, \quad (1)$$

где  $d\sigma$  – приращение напряжения образца в пластической области,  
 $d\varepsilon_p$  – приращение пластической деформации.

Когда условие (1) нарушается, на диаграмме растяжения образца появляется ниспадающий участок. Это связано с возникновением шейки в образце, в результате чего деформированное состояние становится неоднородным по объему образца. Условие (1) можно рассматривать как критерий устойчивости деформирования за пределом упругости.

В случае общего трехмерного напряженного состояния выражение устойчивости деформирования за пределами упругости в точке тела будет иметь вид:

$$d\sigma_{ij}d\varepsilon_{ij}^p > 0, \quad (2)$$

где  $d\sigma_{ij}$  – приращение тензора напряжений,  $d\varepsilon_{ij}^p$  – приращение тензора пластической деформации.

Различные зоны конструкции деформируются неодинаково, существующие элементы жесткости (фланцы, патрубки, опоры и т.д.) сдерживают свободное деформирование. Отсюда следует, что соотношение приращений упругих и пластических деформаций в ходе монотонного нагружения в различных областях конструкции будет происходить неравномерно. Чтобы не исследовать все зоны по отдельности в работе [2] предложено рассматривать в качестве критерия устойчивой работы конструкции приращение относительной пластической энергии деформации всей конструкции:

$$U = \frac{d\left(\frac{\bar{W}_p}{\bar{W}}\right)}{dp}, \quad (3)$$

где  $\bar{W}_p = \int_V W_p dV$  – потенциальная энергия пластической деформации

конструкции,  $\bar{W} = \int_V W dV$  – полная потенциальная энергия деформация

конструкции,  $dp$  – приращение нагрузки (внутреннее давление).

Из анализа графика функции  $U = f(p)$  определяется нагрузка, при которой прекращается монотонный рост величины  $U$ , что означает нарушение условия устойчивого упруго – пластического деформирования и начало пластического разрушения конструкции.

Примером использования выражения (3) может служить уточненный расчет линзового компенсатора охлаждающей рубашки трубчатого реактора ОАО «Казаньоргсинтез» (рис. 1).



Рис. 1. Линзовый компенсатор

Компенсатор выполнен из стали марки 8135.811 (обозначение по стандартам Германии, принятый Российский аналог – сталь 20). Корпус рубашки выполнен из

труб  $\text{Ø}133 \times 6,3$  мм и предназначен для работы под давлением  $p = 4$  МПа, рабочая температура в рубашке  $230^\circ\text{C}$ , температура реакционной смеси в аппарате  $300^\circ\text{C}$ .

Среда в рубашке – вода и водяной пар. Толщина стенки линзовых компенсаторов по результатам ультразвуковой толщинометрии составляла в среднем 2,8-3,0 мм, в наиболее изношенной гофре – 2,35 мм. Требовалось определить предельное давление компенсатора. Результат анализа с использованием выражения (3) приведен на рис. 2.

Расчет проводился для установившегося режима циклического нагружения компенсатора при постоянном значении осевого усилия, вызванного разностью температур корпуса и рубашки.

Из рис. 2 видно, что максимальное значение, при котором происходит излом кривой, составляет 2,8 МПа, данная величина является искомым предельным давлением компенсатора при заданном осевом температурном усилии. Так как работать при предельных нагрузках не допускается, допускаемое давление получается введением коэффициента запаса  $n_T = 1,5$ .

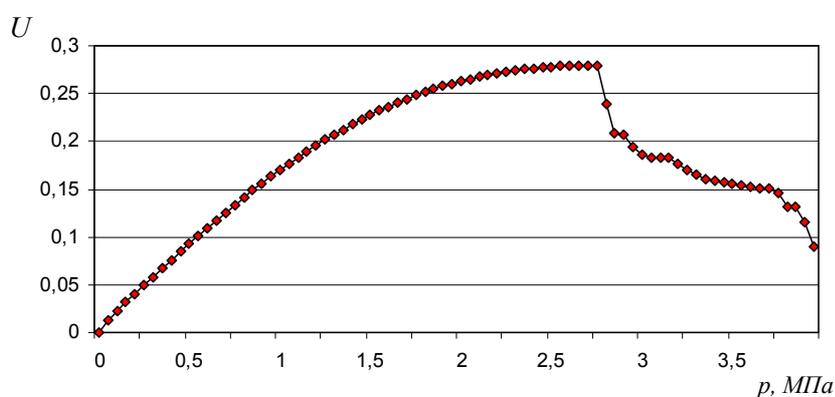


Рис. 2. Расчет компенсатора по выражению (3)

## Литература

- [1] ГОСТ Р 52857.1 – 2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2008. – 23 с.
- [2] Вожова Н.В., Скопинский В.Н., Определение предельной нагрузки для штуцерных узлов сосудов и аппаратов, работающих под давлением // Материалы XXII международной инновационно – ориентированной конференции молодых ученых и студентов «Будущее машиностроение России» (МИКМУС-2010). Москва, 26-29 октября 2010г. 2010. С.214.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЕЧАЙКИ С РАССЛОЕНИЕМ С ЦЕЛЮ ПРОДЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

Имамутдинова Л.Ф., Харламов И.Е., Валеев С.И.

Казанский национальный исследовательский технологический университет.

E-mail: hailev@rambler.ru

Основой безаварийной работы аппаратов является их систематическое обслуживание и ремонт, требования, к проведению которого закреплены в «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожарных химических и нефтеперерабатывающих производств» [1].

Согласно этим правилам каждый аппарат при выработке ресурса, заложенного проектной организацией и заводом изготовителем должен быть подвергнут обследованию с целью определения сроков его дальнейшей безопасной эксплуатации [2-4].

Как уже отмечалось ранее каждый сотый сосуд и аппарат на период обследования имеет расслоение основного металла или сварного соединения [5].

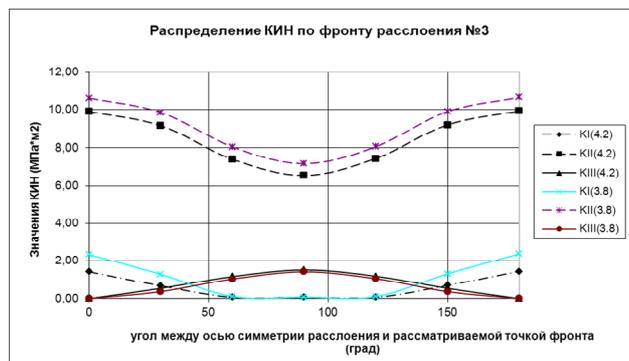
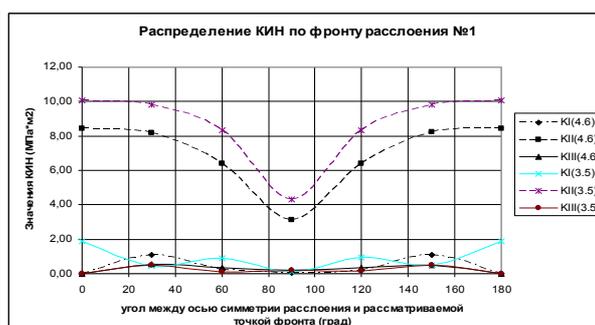
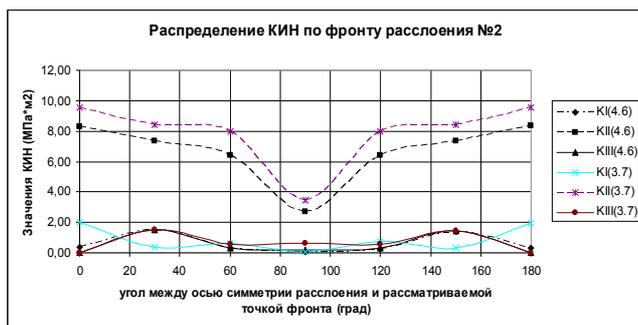
Согласно [6] если в аппарате выявлен трещиноподобный дефект типа расслоения не зависимо от размера и расположения в металле, вопрос о возможности допуска к эксплуатации решается специализированной организацией с учетом рекомендаций подраздела 6.5 [6]. Обычно эксплуатация такого оборудования разрешается в случае ремонта дефектного участка с применением сварки или периодического обследования дефектного участка неразрушающими методами с целью контроля увеличения размеров расслоения, если размеры и расположение расслоения не позволяет произвести его ремонт. Проведение периодического контроля процесс дорогой и трудоемкий, особенно в случае невозможности вывода аппарата из технологического процесса.

Так, например, при экспертизе промышленной безопасности вертикальной емкости, состоящий из обечайки  $\varnothing 1600 \times 10$  и двух эллиптических днищ, материал исполнения ВстЗсп5, было выявлено в обечайке три эллиптических расслоения с осями (размерами) №1  $150 \times 830$ , №2  $150 \times 1000$ , №3  $130 \times 300$  расположенные на разных уровнях от шва приварки нижнего днища (рисунки). Расслоения вытянуты в кольцевом направлении и симметричны относительно оси обечайки. Глубина их залегания варьируется от 5,4 до 6,3 мм от наружной поверхности. Рабочее давление емкости -  $10 \text{ кгс/см}^2$ .

Целью работы является разработка метода определения параметров механики разрушения KI, II, III и создание системы их автоматизированного расчета для прогнозирования ресурса емкостного оборудования с трещиноподобными дефектами типа расслоения. Сопротивление хрупкому разрушению оценивается в соответствии с [7] по коэффициенту интенсивности напряжения (КИН).

Расчет напряженно-деформированного состояния и вычисление коэффициентов интенсивности напряжений выполнены методом конечных элементов с помощью программного комплекса ANSYS 12.1. Рассмотрена модель половины обечайки с записью соответствующих граничных условий на плоскости симметрии. Для имитации реакции днищ к торцевым плоскостям прикладывались соответствующие растягивающие напряжения. Расслоения моделировались по одному и рассчитывались на разных глубинах залегания. Расслоения моделировались параллельно поверхности обечайки. Не учитывалось влияние концентраторов напряжений (швов, штуцеров, опор и т.д.). Для создания правильной сетки в области фронта расслоения использовались 2-D элементы со смещенными центральными узлами (с целью реализации функции формы с корневой особенностью) PLANE82 и 3-D элементы SOLID186 с добавлением контактных элементов CONTA174 и TARGE170.

Решалась нелинейная контактная статическая задача без учета пластических деформаций в зоне фронта расслоения.



В результате расчета выяснилось, что максимальные эквивалентные напряжения в вершинах расслоения составляют: для расслоения №1 1,7 МПа, а для расслоения №3 1,6 МПа. Полученные напряжения малы по сравнению с допускаемыми для материала обечайки 142 МПа. В связи с чем необходимо проанализировать сопротивление хрупкому разрушению, возможность дальнейшего

роста. Разрушения этого вида особенно опасны, так как происходят внезапно, распространяясь с высокой скоростью без заметной макропластической деформации.

На графиках приведены результаты расчета коэффициента интенсивности напряжений (КИН) в 7 точках вдоль фронта расслоения. Из графиков видно, что для расслоений, расположенных параллельно поверхности преобладает КИН второго типа (поперечного сдвига). КИН возрастает по мере приближения дефекта к внутренней стенке обечайки. Величины КИН малы по сравнению с критическим для данного материала, что исключает дальнейший рост дефекта в данных условиях эксплуатации. Проведенные исследования показали, что данный объект экспертизы соответствует требованиям промышленной безопасности. Эксплуатация емкости была разрешена без ремонта дефектных участков, при условии ежегодной толщинометрии мест расслоения на предмет отслеживания динамики изменения

## Литература

- [1] Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11.03.2013 г. № 96 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств»
- [2] Федеральный закон от 21.07.1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» с изменениями
- [3] Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14 ноября 2013 г. № 538 «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности»
- [4] М.Х. Сабитов, С.И. Поникаров, С.И. Валеев Оценка ресурса безопасной эксплуатации газосепараторов с дефектами угловых сварных швов приварки штуцеров// Вестник Казанского Технологического университета. 2013.-№ 15-С. 118÷120.
- [5] Ю.И. Шакирова, С.И. Валеев, В.А. Булкин Эксплуатация технических устройств (сосудов и аппаратов) с дефектами типа расслоение//Вестник Казанского Технологического университета. 2012.-№ 16-С. 157÷158.

- [6] РД 03-421-01 Методические указания по проведению диагностирования технического состояния и определению остаточного срока службы сосудов и аппаратов ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2002
- [7] ПНАЭ Г-7-002-86 Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок Москва Энергоиздат, 1989.

## **ОХРАНА ТРУДА И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ НА НПЗ**

Афони́на И.И., Телегин А.Н., Сариллов М.Ю.

*Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет*

Нефтеперерабатывающий завод (НПЗ) – самое слабое звено во всей нефтегазовой вертикали с точки зрения её безопасности. Нефтеперерабатывающий завод – это, по сути, такая гигантская пороховая бочка, множество емкостей с мощной взрывчаткой. Множество сложных технологических процессов протекает на всех установках НПЗ и любой из них может пойти не так, что может привести к аварийной ситуации. За последние годы аварии на нефтеперерабатывающих предприятиях участились. Все чаще причиной называют не соблюдение инструкций охраны труда и промышленной безопасности. В данной ситуации необходимо модернизировать государственные нормативные требования в этой сфере.

Охрана труда направлена на сохранение жизни и здоровья человека. Изучение инструкций по охране труда для работников обязательно и обеспечивается работодателем – генеральным директором предприятия. Не соблюдение этих требований является нарушением трудовой дисциплины и влечет за собой последствия.

Обязанности каждого работника, предусмотренные трудовым кодексом (ст. 214 ТК РФ). Основные обязанности:

- Соблюдать все требования охраны труда;
- Правильно применять средства индивидуальной и коллективной защиты;
- Проходить обучение безопасным методам и приемам выполнения работ, инструктаж по охране труда, стажировку на рабочем месте и проверку знаний требований охраны труда;
- Немедленно извещать своего непосредственного руководителя о любой ситуации, угрожающей жизни и здоровью людей;
- Проходить обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры.

Промышленная безопасность не является составной частью охраны труда, но является. Промышленная безопасность – это состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных производственных объектах и последствий указанных аварий. Основная цель промышленной безопасности - предотвращение и/или минимизация последствий аварий на опасных производственных объектах. Авариями на нефтеперерабатывающих заводах могут быть: неконтролируемые взрывы, пожары, выбросы вредных веществ и другие. Но возможны аварии, которые не причиняют вред жизни и здоровью работников, и, наоборот, вред жизни и здоровью работников может быть причинен без аварий.

Промышленная безопасность на предприятии должна соответствовать требованиям Федерального закона от 21 июля 1997 года № 116–ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». Обязательные мероприятия, которые должны проводиться:

- Полное техническое обслуживание промышленных сооружений, включающее в себя этапы от проектирования до введения в эксплуатацию, а также капитальный ремонт;
- Контроль за изготовлением, установкой, регулированием и ремонтом технических приспособлений для стабильной работы промышленных установок;
- Применять новейшие технологии и современные методы производства для обеспечения безопасной рабочей среды для сотрудников НПЗ;
- Подготовка и переподготовка рабочих, обслуживающих промышленные объекты;
- Регулярные проверки промышленной безопасности.
- Организация (НПЗ) должна выполнять требования производственной безопасности по ликвидации аварийной ситуации:
- Обеспечить промышленную безопасность, наполнить резервы материальных и нематериальных ресурсов для ликвидации аварийных ситуаций;
- Создавать системы оповещения связи и наблюдения для быстрого реагирования на аварии, поддерживать эти системы в пригодном состоянии;
- Планировать мероприятия касающиеся локализации аварий и ликвидации последствий;
- Заключать договора на обслуживание с профессиональными аварийно спасательными службами и формированиями, при необходимости самостоятельно из числа рабочего персонала создавать профессиональные и нештатные аварийно-спасательные службы, и формирования.

За исполнением требований в сфере промышленной безопасности на нефтеперерабатывающем предприятии отвечает специально уполномоченная Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. Только данная служба может подтвердить заключение экспертизы промышленной безопасности. В обязанности Федеральной службы по экологическому, техническому и экологическому надзору входит осуществление инспекционного контроля в области промышленной безопасности.

Несмотря на все правила и критерии охраны труда и промышленной безопасности производственные аварии для нашей страны не редкость. Несовершенство системы охраны труда и промышленной безопасности влечет за собой множество человеческих жертв и материальных потерь для предприятия. Из этого следует вывод, что для выхода из данной ситуации в стране, необходимо разрабатывать и внедрять на НПЗ новые экономические механизмы и методы управления и прогнозирования в этой сфере.

## Литература

- [1] Трудовой кодекс Российской Федерации: [федер. закон: принят Гос. Думой 21 дек. 2001 года «Российская газета» № 256 от 31 декабря 2001 года.
- [2] Яковлева С.Я., Охрана труда на промышленном предприятии/ С.Я. Яковлева, Е.Ф. Школьникова. – М.: Экономика, 2004.
- [3] В.И. Коробко, Промышленная безопасность/ В.И. Коробко. – М.: Академия, 2012. – с. 208.
- [4] Михайлов М.Ю., Промышленная безопасность и охрана труда/ М.Ю. Михайлов. – М.: Альфа-пресс, 2014. – с. 232.

## **ПРОМЫШЛЕННАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Шаламов Р.В., Труш А.М., Шпилева О.А., Сариллов М.Ю.  
*Комсомольский – на – Амуре политехнический университет*

Основной причиной рассмотрения данной проблемы является то, что нефтеперерабатывающие заводы в большинстве случаев расположены вблизи населенных пунктов, либо непосредственно в них, то на НПЗ следует применить закрытые факельные системы, так как они являются более экологичными и имеют огромное количество достоинств.

В сфере защиты окружающей среды «Роснефть» следует требованиями законодательства РФ и нормами международного права. Одно из преимущественных тенденций работы Компании является уменьшение выбросов в атмосферу, вредных веществ. Повышенное внимание отдается мерам предупреждающего характера, направленные на сведение к минимуму, отравляющего воздействия на окружающую среду. К примеру, «Роснефть» воплощает Целевую экологическую программу в период 2009-2014 г.г., которая будет направлена на усовершенствование природоохранных объектов, оборудования и сооружений.

Огромное количество НПЗ используют открытую факельную систему, в том числе и Комсомольский НПЗ. Заменяв факельную систему на закрытую, мы получим ряд преимуществ, таких как:

1. Отсутствие дыма.
2. Отсутствие пара.
3. Отсутствие видимого пламени.
4. Отсутствие запаха.
5. Минимальный уровень шума.
6. Отсутствие теплового шлейфа.
7. Легкая в использовании система с доступом ко всем органам управления.
8. Комфорт в обслуживании всех узлов с земли (пример: дежурные горелки могут быть сняты без остановки всей системы).
9. Безопасное и надёжное уничтожение любых жидких и газообразных отходов.

Как и в любой другой факельной системе, особое внимание уделяется безопасности и надёжности. Безопасная и надёжная работа всей факельной системы в общем зависит главным образом от конструкции и эксплуатационных свойств горелок, а также качества и надёжности системы автоматики, построенной на отказоустойчивых датчиках, встроенных в систему взаимоблокировок, дежурных горелок и исполнительных механизмов.

Нынешние закрытые факельные системы производства NAO – Генерация включают в себя два очень важных преимущества:

1. Выполняют бездымное сжигание всех тяжёлых трудносжигаемых газообразных отходов, а также влагосодержащих отходов с маленькой теплотворной способностью без использования дорогостоящего пара, воздуходувок или открытых горелок и насадок.
2. Могут быть заменены в факельную систему термического окисления добавлением регулятора тяги к свободной естественной тяге воздуха многофорсуночных и мно-

гоструйных горелок в одной камере сгорания (общей или схеме конструкций в виде камера в камере) возможно сжигание не одного, а нескольких различных потоков жидких, либо газообразных сбросов.

Качество устранения продуктов в процессе сгорания жидких и газообразных отходов для факельных систем термического окисления составляет 99,9%, что является лучшим показателем уменьшения выбросов окислов серы ( $SO_x$ ), окислов азота ( $NO_x$ ), а также иных летучих канцерогенных выбросов.

Закрытая факельная система может быть оборудована на 2 разных типа систем утилизации тепла:

1. Предварительное нагревание (с помощью теплообменника) потока холодных отходов для цели более качественного их устранения.
2. Для предварительного нагрева используется котел с целью получения водяного пара.

При проектировании возможно рассмотреть вопрос о использовании обеих систем тогда, когда рекуперативная энергия в данном случае может быть использована. В закрытых факельных системах - производства НАО- Генерация достигнут самый высокий уровень надежности и безопасности, что обеспечивается совокупностью передовых методов проектирования с высокотехнологичным на сегодняшний день производством. В автоматизированных закрытых факельных системах использованы самые новые технические разработки и решения: автоматические схемы взаимных блокировок, жидкостные затворы, сканеры пламени, которые работают в ультрафиолетовом диапазоне; отказоустойчивые системы запуска и остановки, световая сигнализация; различные многоступенчатые головки горения, в которые встроены огнепреградители и устройства, предотвращающие детонацию; дежурные горелки с дистанционными генераторами искры и УФ-сканерами. По отдельному заказу возможна поставка устройств безопасности: детекторов газа, видеомониторов, сигнальных сирен и автоматических противопожарных систем. Факельную систему можно будет запустить только тогда, когда контрольные системы проведут полную проверку всех защитных средств. Начало работы форсунок многоступенчатой горелки зависит от каждой дежурной тарелки, которая обязательно должна быть оснащена отдельным сканером, и которая обязана сообщить об удачном розжиге. Такая совокупность автоматизированных функций поддержки безопасности, имеющих современные схемы взаимоблокировки, обеспечивающих отличную и надежную работу горелок, используется в системах закрытого факельного типа НАО- Генерация, которые применяются в многонаселенных районах. Автоматическая многостадийная функция многоструйных горелок, содержащих много форсунок и имеющих естественную тягу, гарантирует значительное уменьшение выбросов с нефтегазодобывающих объектов, НПЗ, а также других предприятий, которые имеют обрабатывающую или перерабатывающую отрасль промышленности.

Таким образом, внедрение и использование закрытых факельных систем улучшить промышленную безопасность и сократить выбросы вредных веществ в атмосферу

## Литература

- [1] [www.gas-burners.ru/close\\_flares.php](http://www.gas-burners.ru/close_flares.php)
- [2] [www.generation-nho.ru/fakel](http://www.generation-nho.ru/fakel)

**ВОДОРОДНОЕ РАССЛОЕНИЕ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ МЕТАЛЛА  
В СОСУДАХ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ  
В НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ**

Асатов И.Ф., Харламов И.Е., Валеев С.И.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет.*

*E-mail: iskan\_derius@mail.ru*

Оборудование для переработки нефте- и газопродуктов является одним из наиболее сложных и материалоемких видов оборудования. Немалую часть конструкций этого вида оборудования составляют магистральные и технологические трубопроводы. В соответствии с Федеральным законом от 21.01.1997 №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» они относятся к опасным производственным объектам. Соответственно, надежность и безотказность работы трубопроводов значительно влияют на общую надежность оборудования, а выход из строя чреват большими материальными затратами и может привести к экологическим проблемам.

Одним из наиболее опасных дефектов, приводящих к взрывам и пожарам, является расслоение основного металла и сварного соединения. Тенденция последних лет такова, что проблема повышения надежности, долговечности оборудования становится все более важной, в связи с увеличением интенсивности работы, а также с возрастающими коррозионными свойствами продуктов нефтегазовой отрасли [1].

В соответствии с принятой терминологией, расслоением [2] принято называть внутреннее нарушение сплошности металлической оболочки либо стенки машин и аппаратов, которое располагается вдоль волокна, и вызвано особенностями изготовления, в частности – обработкой давлением слитка, либо прокаткой листового металла, имеющего внутренние дефекты – поры, раковины [3]. Расслоения наблюдаются обычно в середине оболочки либо листового материала, либо в околошовной зоне сварных соединений. При этом трещина основного металла может привести к появлению трещины в сварном шве.

В зависимости от причин возникновения дефекты трубопроводов типа расслоения можно разделить на металлургическое расслоение, возникающее в процессе изготовления, и водородное расслоение, вызванное агрессивным воздействием среды, содержащей сероводород. Также следует уточнить, что дефекты типа расслоения бывают следующих типов: расслоение стенки, неметаллическое включение в стенке, и дефект изготовления. В условиях эксплуатации металлургическое расслоение может под воздействием продуктов нефте-и газопереработки перейти в водородное расслоение.

Основной причиной возникновения дефектов типа расслоение в трубопроводах и аппаратах нефтегазовой отрасли, в соответствии с анализом литературных источников [5-11], является химический состав транспортируемых нефте- и газопродуктов, а именно наличие в составе сероводорода.

С целью сбора статистической информации по дефектам типа расслоение было обследовано оборудование НПЗ, работающих с сернистой нефтью. Из 682 машин и аппаратов расслоение было выявлено в 15,4% (105 аппаратов).

Анализ условий работы конструкций, в которых было выявлено расслоение, показал, что основной причиной возникновения расслоений было воздействие водо-

рода и электрохимические реакции, приведшие к коррозии стенок оборудования и трубопроводов.

Водородное расслоение возникало в различных типах аппаратов – емкости, колонны, отстойники, сепараторы, конденсаторы, установки прямой гонки, каталитического и термического крекинга. Фракционный состав обрабатываемых продуктов тоже различен – тяжелые фракции (керосино-газойлевые), нестабильные и стабильные фракции, сжиженные пропановые, этановые, бутановые фракции, а также углеводородные газы

Отличительной особенностью коррозионных сред является наличие воды в нефтегазовых продуктах. В отсутствие воды, а также при низких температурах перерабатываемые продукты неагрессивны. Водная фаза в сероводородной эмульсии создает условия для протекания электрохимических реакций – восстановления ионов водорода и внедрения атомарного водорода в металл стенок оборудования с последующим коррозионным разрушением. При этом, наличие продуктов нейтрализации сероводорода, таких как растворимые сульфиды тоже вызывало водородную деградацию. [1]

Большинство аппаратов с водородным расслоением металла (около 70%) принадлежит к газодиффузионным установкам, защита которых (особенно аппаратов для пропановой фракции) необходима в первую очередь.

Между количеством аппаратов с расслоением металла и температурой эксплуатации, а также временем до возникновения расслоения связь отсутствует. Расслоение наблюдалось в аппаратах, работающих при температурах от 30 до 150 °С. Влияние давления проявляется в увеличении растворимости сероводорода в водной фазе и в создании возможности существования водной фазы при более высоких температурах (за счет повышения точки кипения). Оба фактора способствуют увеличению вероятности водородного расслоения металла. Однако при достаточно больших концентрациях  $H_2S$  и сохранении возможности существования водной фазы во всем диапазоне давления последние практически не оказывают влияния на водородное расслоение аппаратуры. Следует отметить, что дефекты расслоения, имеющие вид пузырей и вздутий, наблюдались как на внутренней, так и на наружной поверхности стенок оборудования, но в большинстве в нижней части оборудования, где скапливается основная часть конденсационной воды. Однако факт возникновения дефектов в верхней части говорит о том, что конденсат может появляться на всей внутренней поверхности оборудования.

Длительность работы оборудования до появления следов водородной деградации в среднем составляла 5-7 лет. В то же время, встречались случаи появления расслоений в течение года – на оборудовании пропановой фракции.

В соответствии с [11] в практике работы оборудования нефтегазопереработки иностранных компаний также имеет место расслоение стенок аппаратов и трубопроводов при работе с сероводородными продуктами, содержащими влагу. При разгерметизации дефектов было обнаружено, что заполняющий дефекты-вздутия на стенках газ имеет давление до 20 Мпа, и состоит на 99,5% из сероводорода

Что касается способов ремонта сосудов давления (трубопроводов), следует упомянуть наиболее распространенный метод, заключающийся в том, что участки коррозионных повреждений вырезают и на их место варивают заплатки.

Недостатком способа является высокая трудоемкость и стоимость ремонтных работ. Этот способ не может быть применен при выявлении большого числа рассредоточенных расслоений металла, высокой степени повреждаемости конструкции.

Известен также способ ремонта сосудов давления, основанный на удалении атомарного водорода из металла при низкотемпературной термической обработке элементов конструкций. Такая технология используется, например, в атомной энергетике для продления ресурса оборудования.

Авторы [4] предлагают способ ремонта сосудов давления (трубопроводов), имеющих коррозионные повреждения в виде расслоений металла, заполненных газообразными продуктами водородной коррозии метаном и водородом под избыточным давлением, основанный на удалении газа из металла, заключающийся в том, что в стенках сосуда (трубопровода), в местах расположения расслоений сверлят отверстия на глубину залегания расслоений и фиксируют момент их разгерметизации по характеру изменения напряженно-деформированного состояния металла на поверхности сосуда (трубопровода) в зонах расслоений. Изменение напряженно-деформированного состояния на поверхности сосуда (трубопровода) в зонах расслоений оценивают, например, методом тензометрии, путем установки тензорезисторов на стенки сосуда (трубопровода) в зонах расслоений с последующим тензометрированием непосредственно перед сверлением отверстий и в процессе сверления и фиксируют изменение величины электросопротивления тензорезисторов при разгерметизации расслоения.

Такая технология ремонта обеспечивает удаление газообразных продуктов коррозии из расслоений металла. Давление газов в расслоениях при водородной коррозии достаточно высоко и может достигать несколько сот МПа.

Избыточное давление газов в расслоениях металла обуславливает их развитие в процессе эксплуатации оборудования. При этом в зонах расслоений возникают дополнительные мембранные напряжения, которые повышают локальную напряженность конструкции и могут привести к ее разрушению. Разгерметизация расслоений при ремонте обеспечивает их консервацию, дефекты не развиваются. Дополнительные мембранные напряжения при этом в значительной степени снимаются.

Эксплуатация оборудования, в элементах конструкции которого обнаружен дефект типа расслоение, является недопустимой. В то же время, принимая во внимание опыт оценки и экспертных оценок работоспособности машин и аппаратов с обнаруженными дефектами типа расслоение, запрещение эксплуатации такого оборудования в некоторых случаях является необоснованной. Допускается эксплуатировать сосуды с расслоениями в условиях понижения параметров, а также с проведением мероприятий, направленных на увеличение безопасности эксплуатации, таких как проведение регулярного неразрушающего контроля развития расслоения в опасной зоне [3-4].

В частности, представляется возможным использование компьютерного моделирования с использованием метода конечных элементов для прогнозирования результатов эксплуатации конструкций с дефектами типа расслоение. Такие возможности предоставляет программный пакет ANSYS, который позволяет получить данные о механических характеристиках и динамике процессов разрушения [3-4].

Представленные в работе результаты показывают, что дальнейший рост дефекта при данных условиях эксплуатации исключается, а, следовательно, дефект-расслоение в данном конкретном случае не оказывает негативного влияния на безопасную эксплуатацию сосуда, проведения ремонта не требуется.

**Литература**

- [1] Шнайдер А.А. Автореф. дисс. канд. техн. наук, Уфимский гос. нефтяной техн. ун-т, Уфа, 2002, 3 с.
- [2] Шакирова Ю.И., Валеев С.И., Харламов И.Е. Эксплуатация технических устройств (сосудов и аппаратов) с дефектами типа расслоение // Вестник Казанского технологического университета. 2012, Т5, №16, С. 157-158
- [3] Валеев С.И., Булкин В.А., Харламов И.Е. Безопасная эксплуатация емкостного оборудования с трещиноподобными дефектами типа расслоение // Евразийское научное объединение, 2015, т.1, №2(2), С.44-45.
- [4] Харламов И.Е., Валеев С.И., Зайнуллин Ф.Р., Булкин В.А. Исследование расслоений различной формы и ориентации в обечайке с определением параметров трещиностойкости // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 20. С. 267-269.
- [5] Василенко И.И., Мелехов Р. А. Коррозийное растрескивание стали.– Киев: Наук. Думка, 1997.– 265 с.
- [6] Влияние водорода на хрупкость конструкционных сталей и сварных соединений / И.К.Походня, В.И. Швачко, С.А. Коротченко и др. // Автомат. Сварка. – 1989.– №5. – С. 1-4.
- [7] Радкевич О.И., Похмурский В.И. Влияние сероводорода на работоспособность материалов и оборудования газодобывающих промышленности // физ. Хим. Механика материалов.– 2001.– №2.– С.157-168.
- [8] Радкевич О.И., Пясецкий О.С., Василенко И.И. Коррозийно-механическая долговечность трубной стали в сероводородной среде // Физ. Хим. Механика материалов. – 2000. – №3. – С.93-97.
- [9] Саакиян Л. С., Ефремов А. П. Защита нефтегазопромыслового оборудования от коррозии. – М.: Недра, 1982. – 227с.
- [10] Шаповалов В.И. Влияние водорода на структуру и свойства железоуглеродистых сплавов. – М.: Металлургия, 1982.– 230 с.
- [11] А. В. Шрейдер, И. С. Шпарбер, Ю. И. Арчаков. Влияние Водорода на нефтяное и химическое оборудование. М.: «Машиностроение» 1976. 144 с.