

## **МЧС России**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

«Уральский институт Государственной противопожарной службы  
Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны,  
чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»



## **Материалы научно-практических конференций**

**(5 – 6 декабря 2012 г.)**

**Том 2**

**Екатеринбург  
2013**

Материалы научно-практических конференций (5-6 декабря 2012 г.)  
[Текст] : Т. 2. / сост. П.В. Ширинкин [и др.]. – Екатеринбург : Уральский институт ГПС МЧС России, 2013. – 121с.

*Составители:*

<b>Ширинкин П.В.</b>	начальник учебно-научного комплекса «Обеспечение пожарной безопасности объектов защиты», к.т.н.;
<b>Штеба Т.В.</b>	доцент кафедры пожарной безопасности технологических процессов Уральского института ГПС МЧС России, к.т.н.;
<b>Красильникова М.А.</b>	научный сотрудник научно-исследовательского отделения учебно-научного комплекса «Обеспечение пожарной безопасности объектов защиты».

Сборник включает материалы научно-практических конференций «Инновации в сфере пожарной автоматики и связи», «Совершенствование защиты производственных объектов с повышенной пожарной опасностью», «Физико-химические основы развития и тушения пожаров».

Сборник предназначен для научных работников, аспирантов, студентов, курсантов, практических работников и специалистов в области пожарной безопасности.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ИННОВАЦИИ В СФЕРЕ ПОЖАРНОЙ АВТОМАТИКИ И СВЯЗИ

<i>Новоселов К.С., Варова А.С.</i> Эра Глонасс .....	6
<i>Бородин А.А.</i> Особенности контроля пожаровзрывобезопасности среды резервуара в период подготовки и проведения ремонтных работ.....	8
<i>Титанов Р.В., Кобелев А.М.</i> Подвижные спутниковые системы связи.....	10

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ С ПОВЫШЕННОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТЬЮ

#### *Проблемы пожарной безопасности объектов нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности*

<i>Кокорин В.В., Качалкин В.В., Коваленко В.Ю.</i> Анализ статистических данных с наиболее сложными пожарами в резервуарах и резервуарных парках.....	13
<i>Полуян Л.В., Тимашев С.А.</i> Установление зависимости между процессом разрушения, вероятностью отказа и величиной ущерба критичных инфраструктур.....	17
<i>Зыков П.И., Шумяков И.Г., Шакиров Е.Х.</i> О возможности применения гранул твердого диоксида углерода при очистке резервуаров с нефтью и нефтепродуктами .....	20
<i>Бекмансуров И.В., Алимов А.В.</i> Разрушение резервуаров вертикальных стальных вследствие ошибок при изготовлении и монтаже .....	26
<i>Сафронова И.Г., Гайсин Р.Р.</i> Основные меры защиты от опасных проявлений зарядов статического электричества во взрывоопасных зонах.....	30
<i>Халиков В.Д., Хужаев А.Т.</i> Сравнительный анализ методов прогнозирования площади разлива нефтепродуктов из поврежденного технологического оборудования.....	34
<i>Пешков А.В., Зайцев В.А., Зиновьев Н.С.</i> Совершенствование действий подразделений ФПС при тушении пожаров на складах нефтепродуктов .....	38
<i>Брусницына Л.А., Куликов В.В.</i> Аспекты принятия решений при разливе нефтепродуктов .....	42

<b>Брусницына Л.А., Кошкарлов В.С.</b> Прогнозирование последствий горения парогазовоздушного облака на базе для хранения нефтепродуктов .....	45
--	----

### **Проблемы противопожарной защиты особо важных объектов экономики**

<b>Гиндулин И. К., Старцева Л. Г., Пушкарева Н.С.</b>	
Проблемы пожарной опасности отвалов мягких древесных отходов и пути их решения .....	48
<b>Романова И. Н., Ваганова И.В., Билан Д.А.</b>	
Fire protection improvement in technological process of ammonium nitrate production .....	50
<b>Криворогов М.В., Штеба Т. В., Мельниченко Ю.В.</b>	
Снижение пожарной и экологической опасности АЗС путем улавливания легких фракций углеводородов .....	51
<b>Хужаев А.Т., Ваганова Г. В., Корнилов А. А.</b> Беспроводная система пожарной сигнализации, ее достоинства и недостатки.....	
	55
<b>Сафонов А.Ю., Сафронова И.Г.</b> Традиционные и альтернативные способы защиты от прямых ударов молнии зданий и сооружений.....	
	59
<b>Калабин А.Е., Мансуров Т.Х.</b> Устройства защиты от импульсных перенапряжений как средство повышения пожарной безопасности зданий и сооружений .....	
	62
<b>Вдовин А.В., Иванов А.Н.</b> Применение устройств защитного отключения как средство повышения пожарной безопасности объекта.....	
	64
<b>Брусницына Л.А., Буданов Б.В.</b> Разработка процесса энергосберегающей и экологически безопасной комплексной утилизации медьсодержащих растворов .....	
	67
<b>Контобойцев Е.А., Халиков В.Д., Иванов Ю.С.</b> Современные разработки в области теплообменного оборудования промышленных предприятий с повышенной пожарной опасностью .....	
	69
<b>Контобойцева М.Г., Андрианов А.А.</b> Современные технологии тушения пожаров .....	
	72
<b>Мансуров Т.Х., Тюгаев Д.В.</b> Использование электричества в медицине .....	
	75
 <b>Халиков В.Д., Сурков А.П.</b> Основные физико-механические свойства твердых подстилающих поверхностей и их влияние на площадь разлива нефтепродуктов .....	
	79
<b>Кузьмин С.А., Марков М.В., Иванова С.И., Кочнев С.В.</b>	
Технологический процесс сушки веществ и материалов .....	81

<b>Кокорин В. В., Волков В. В.</b> Подача пены в слой горючей жидкости как один из способов защиты облучаемого резервуара на нефтеперерабатывающих предприятиях .....	84
<b>Малышенко Д.С., Ваганова Г.В.</b> Совершенствование противопожарной защиты автосалона «Митсубиси» г. Челябинск .....	89
<b>Туманов А.И., Ваганова Г.В.</b> Пожарная безопасность объектов системы газоснабжения ООО «Газпром Добыча Оренбург» .....	91
<b>Сысоев В.А., Мельниченко Ю.В.</b> Коррозия металлов в технологических процессах .....	92
<b>Закиров Д.А., Ванеева Т.Б.</b> Вопросы пожарной безопасности технологического процесса первичной переработки нефти.....	98

## **ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ И ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ**

### *Современные проблемы и инновации*

<b>Звонарев Е.А., Беззапонная О.В.</b> Тепловизионный мониторинг пожаров.....	102
<b>Гайнуллина Е.В., Жириков Д.И.</b> Тушение пожаров и спасение людей в зданиях повышенной этажности .....	105
<b>Добрынина Н.Ю., Самофеев Е.В.</b> Анализ использования различных видов теплоемкостей в термодинамических расчетах процесса горения.....	108
<b>Гайнуллина Е.В., Ситник А.В., Боярских Д.С.</b> Применение азотных установок для борьбы с огнем .....	110
<b>Гайнуллина Е.В., Юрин В.А.</b> Использование насыщенных фторуглеродов или полифторуглеродов в тушении пожаров.....	113
<b>Брусницына Л.А., Алексеева Т.А., Тармашев А.В.</b> Оценка устойчивости объекта к тепловому воздействию при горении «огненного шара».....	116
<b>Брусницына Л.А., Алексеева Т.А., Зуйков И.А.</b> Физико-химические основы прогнозирования последствий пожаров разлива .....	118

### ЭРА ГЛОНАСС

*К.С. Новоселов, А.С. Варова,*  
ООО «Объединенные координаты Урал»

По данным ГИБДД, за десять месяцев 2012 года на российских дорогах произошло около 170 тыс. аварий, в которых более 23 тыс. человек погибли, порядка 216 тыс. были ранены. Для снижения уровня смертности и травматизма на дорогах по распоряжению Правительства РФ была разработана программа экстренного реагирования при авариях – ЭРА ГЛОНАСС.

**ЭРА ГЛОНАСС** — система экстренного реагирования при авариях, основанная на применении российских средств глобальной спутниковой навигации ГЛОНАСС и систем спутникового мониторинга транспорта.

Система ЭРА ГЛОНАСС проектируется в соответствии с распоряжением Правительства РФ [1] и предназначена для снижения уровня смертности и травматизма на дорогах за счет ускорения оповещения служб экстренного реагирования при авариях и других чрезвычайных ситуациях. Система будет включать навигационно-телекоммуникационные терминалы, которые начнут массово устанавливаться на транспортные средства и соответствующую инфраструктуру, охватывающую все субъекты федерации РФ.

Принцип действия системы заключается в следующем: при тяжелой аварии, например, сопровождающейся срабатыванием подушек безопасности, терминал автоматически определяет координаты пострадавшего транспортного средства через спутники системы ГЛОНАСС, устанавливает связь с серверным центром системы мониторинга и передает данные об аварии по каналам сотовой связи оператору. Оператор уточняет детали происшествия и в случае подтверждения информации или при отсутствии ответа направляет службы экстренного реагирования, например, спасателей МЧС, Скорую помощь, ГИБДД. Водитель или пассажиры могут также вручную включить устройство, передать данные и связаться с оператором.

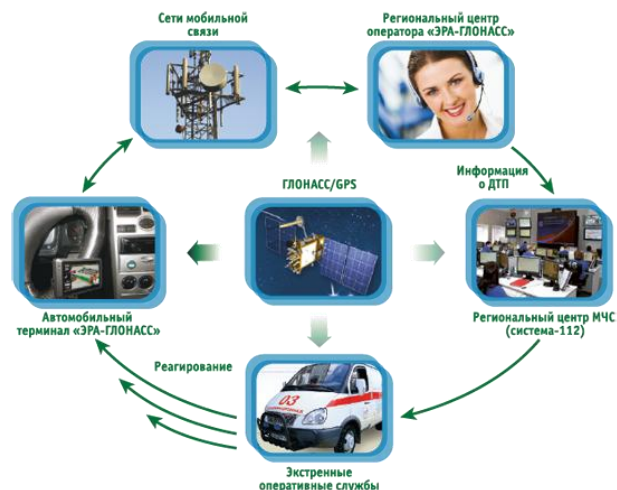


Рис. 1.Схема работы системы ЭРА ГЛОНАСС.

По статистике, более половины (точнее 56%) россиян, погибших в ДТП, умерли еще до прибытия в лечебное учреждение. У медиков существует понятие "золотого часа", в течение которого медицинская помощь пострадавшему наиболее эффективна. Физиологическая основа этого утверждения в том, что в этот первый час после аварии или травмы человеческий организм мобилизует все свои резервные силы и защитные механизмы, чтобы поддержать жизнеспособность. То есть чем больше времени ушло на вызов служб реагирования (МЧС, скорой помощи), их прибытие к месту аварии (которое еще надо найти!), транспортировку пострадавших, тем меньше шансов на выживание и тем тяжелее последствия травмы! А если авария произошла ночью, в безлюдном месте, а сам пострадавший не в состоянии связаться со службами спасения? Для этого и была создана программа ЭРА ГЛОНАСС которая способна эффективно решить данную проблему, качественно сократить время реагирования на дорожную аварию, а значит - спасти человеческие жизни.

В Свердловской области активным внедрением программы ЭРА ГЛОНАСС занимается компания ООО «Объединенные координаты Урал» – ведущая региональная группа компаний, специализирующаяся на разработке и внедрении масштабных комплексных систем мониторинга, основанных на технологиях спутниковой навигации ГЛОНАСС и GPS.

### Литература

1. Распоряжение Правительства РФ от 14.05.2010 N 731-р

## Особенности контроля пожаровзрывобезопасности среды резервуара в период подготовки и проведения ремонтных работ

*А.А. Бородин, Уральский институт ГПС МЧС России*

Анализ научных публикаций по вопросу обеспечения пожаровзрывобезопасности ремонтных работ на резервуарах позволяет сделать вывод, что к числу перспективных способов можно отнести флегматизацию парогазовой среды резервуара инертным газом. Указанный способ имеет целый ряд преимуществ по сравнению с широко используемыми на сегодняшний день мойкой и вентилированием, о чем, например, можно судить по степени снижения индивидуального пожарного риска [1]. Однако, техническая реализация способа флегматизации требует автоматизации процесса создания и поддержания пожаровзрывобезопасной среды в течение всего периода проведения ремонтных работ.

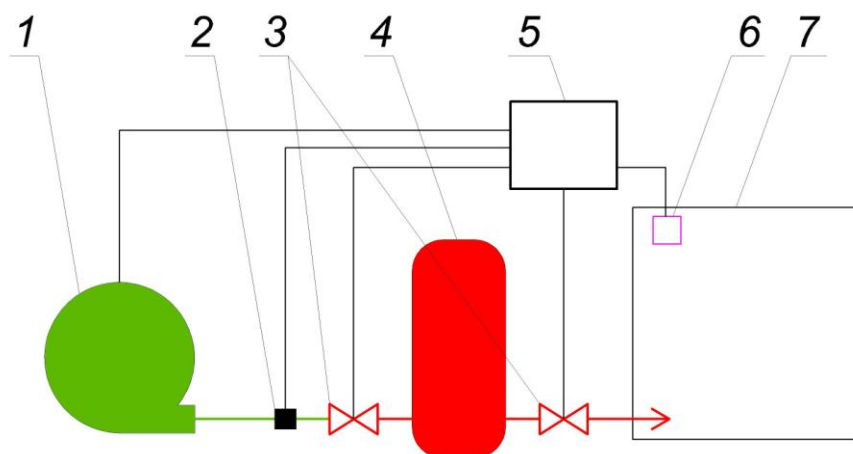


Рис. 1. Принципиальная схема системы флегматизации:

1 – генератор инертного газа; 2 – прибор контроля концентрации инертного газа; 3 – запорная арматура; 4 – ресивер; 5 – блок автоматического управления процессом производства и подачи азота мембранного разделения; 6 – приборы контроля состава парогазовой среды; 7 – резервуар для нефтепродуктов

Принципиальная схема установки флегматизации резервуара (рис.1) предполагает автоматическую подачу инертного газа при достижении пороговых значений каким-либо контролируемым параметром, например, давления, уровня жидкой фазы нефтепродукта, расхода нефтепродукта в процессе откачивания и т.п. В работе [2] в качестве такового предлагается контроль концентраций парогазовой среды резервуара, поскольку изменение концентраций может происходить в условиях незначительного колебания давления, постоянного уровня топлива и т.п. Минимально

взрывоопасные концентрации кислорода и нефтепродукта достаточно широко представлены в научно-технической и справочной литературе, безопасные значения концентраций должны быть определены с учетом требований [3]. Поскольку предполагается, что измерительные приборы будут устанавливаться в верхней части резервуара, а безопасные концентрации должны быть обеспечены по всему объему защищаемой емкости, то следует учесть неравномерность распределения паров нефтепродукта и кислорода, а также погрешность измерительной системы. На основании работ [2, 3, 4] можно записать формулу для определения пороговых концентраций паров нефтепродукта и кислорода в следующем виде:

$$\varphi_{пор}^{к(нт)} = \frac{\varphi_{без}^{к(нт)}}{\sqrt{\left(\frac{\varphi_{макс}^{к(нт)}}{\varphi_{мин}^{к(нт)}}\right)^2 + \left(\frac{\Theta}{100}\right)^2}}, \quad (1)$$

где  $\varphi_{без}^{к(нт)}$  – безопасные концентрации кислорода и нефтепродукта, определяемые на основании справочных данных с учетом требований [3];

$\frac{\varphi_{макс}^{к(нт)}}{\varphi_{мин}^{к(нт)}}$  – отношение максимальной и минимальной концентраций

кислорода (нефтепродукта) в ходе флегматизации; для паров нефтепродуктов в вертикальном стальном резервуаре, согласно экспериментальным данным [4], указанное отношение приблизительно может быть принято равным 1,22; для концентраций кислорода, согласно [2], – 1,25;

$\Theta$  – погрешность применяемой системы измерений концентрации кислорода, %.

В работе [5] также отмечается, что для различных операций по предремонтной подготовке свойственна флуктуация концентраций, однако существенное влияние она оказывает только в процессе водной мойки.

Полученные в результате расчета по формуле (1) концентрации кислорода и паров нефтепродукта могут быть использованы при программировании приборов управления процессом флегматизации, что, в свою очередь, позволит обеспечить безопасность парогазовой среды в резервуаре в автоматическом режиме.

### Литература

1. Бородин А.А., Корнилов А.А. Снижение индивидуального пожарного риска при проведении огневых ремонтных работ на резервуарах посредством флегматизации // Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Российской Федерации: тезисы докладов VI Всероссийской научно-практической конференции 30 мая 2012 года. – Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2012. – С. 97 – 99.
2. Корнилов, А.А. Повышение безопасности аварийно-ремонтных работ на нефтяных резервуарах способом флегматизации азотом мембранного разделения: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Академия ГПС МЧС России. – М., 2012. – 23 с.

3. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения: ГОСТ 12.1.044–89. – Введ. 01.01.91. – М.: ИПК «Изд-во стандартов», 1989. – 143 с.

4. Назаров, В.П. Очистка резервуаров от остатков светлых нефтепродуктов перед проведением огневых ремонтных работ: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / В.П. Назаров. – М., 1980. – 250 с.

5. Назаров, В.П. Пожаровзрывобезопасность предремонтной подготовки и проведения огневых работ на резервуарах: дис. д-ра техн. наук: 05.26.03 / В.П. Назаров. – М., 1995. – 444 с.

### **Подвижные спутниковые системы связи МЧС России**

*Р.В. Титанов, А.М. Кобелев, Уральский институт ГПС МЧС России*

В интересах министерства используются системы спутниковой и конвенциональной радиосвязи, сети транкинговой и пакетной КВ-радиосвязи. Сразу следует отметить, что спутниковая связь в МЧС России развивается в полном соответствии с "Концепцией развития национальной системы спутниковой связи и вещания на период до 2015 г." [1], утвержденной решением Государственной комиссии по радиочастотам.

Спутниковая связь в системе связи МЧС России предназначена для решения таких задач, как [2]:

- обеспечение голосовой связи, факсимильной связи и передачи данных оперативным группам (ОГ), находящимся в зоне ЧС со слаборазвитой сетью связи общего пользования или в условиях ее полного разрушения;

- обеспечение навигационного сопровождения и контроля состояния транспортных средств МЧС России в ходе решения гуманитарных задач и задач по предупреждению и ликвидации ЧС.

Сейчас в России лицензированы и официально предоставляются услуги подвижной спутниковой связи следующих сетей: Inmarsat, Globalstar и Thuraya.

Система Inmarsat предоставляет стационарную спутниковую связь, определяющую главное направление ее использования. Эта система широко используется на наземном, морском, речном, воздушном транспорте, в подразделениях гражданской обороны, в спасательных организациях и подразделениях МЧС, в органах управления, работниками государственных учреждений, а также главами государств. Система Inmarsat действует уже более 25 лет и проверена временем. На данный момент это третье поколение данной системы. Задействованные четыре

геостационарные спутники покрывают весь Земной шар и только полюса земли остались без покрытия этой системой.

Мобильные терминалы Inmarsat широко используются для укомплектования подвижных пунктов управления (ППУ) территориальных органов МЧС России. Они позволяют обеспечить передачу данных из зоны ЧС и надежную голосовую связь с Центром управления в кризисных ситуациях (ЦУКС) МЧС России.

Globalstar является системой, основу которой составляет подвижная спутниковая связь. С самого начала сеть Globalstar формировалась как система, взаимодействующая с существующими мобильными сетями. То есть вне действия сотовых сетей, с которыми заключен договор, телефоны Globalstar переключаются на спутниковую связь, а при хорошем сигнале наземной мобильной связи они работают как обычные сотовые. Успешно используется Globalstar в МЧС.

Услуги сети Thuraya стали доступны на российском рынке позже остальных систем подвижной спутниковой связи. Трубка Thuraya может работать и в сотовом режиме GSM, поддерживает все основные GSM-услуги, включая передачу данных 9,6 кбит/с. Внешне и по набору услуг эти телефоны похожи на Globalstar, но уступают им по зоне обслуживания: в России сеть Thuraya покрывает около 40% территории (в основном западную часть России, Кавказ и территорию от Южного Урала до Алтая). Тем не менее, сотрудники МЧС России пользовались этой сетью на Африканском континенте, где она неплохо себя зарекомендовала.

Рассматривая системы подвижной спутниковой связи, нельзя не сказать о важной задаче поиска и спасения людей, работающих или отдыхающих в экстремальных условиях. МЧС России начало создавать систему, позволяющую осуществлять поиск людей, пострадавших в ЧС, с использованием спутниковой системы КОСПАС-САРСАТ и выдавать абонентам специальные аварийные радиомаяки. Достоинство системы КОСПАС-САРСАТ состоит в том, что здесь не требуется вводить в радиобуй координаты подвижного объекта, да и стоимость данной системы достаточно невелика. Однако система имеет недостаток – информация может быть передана только во время прохождения спутника над буем, что приводит к определенным задержкам в получении тревожной информации.

Система состоит из шести низкоорбитальных спутников, расположенных на околополярной орбите, пяти геостационарных спутников, локальной земной станции связи, центра управления и координационно-спасательных центров. Абонентами системы являются спутниковые аварийные радиобуи.

Следует отметить, что в настоящее время в МЧС России явно недостаточно применяется оборудование фиксированной спутниковой связи. Однако существенное снижение стоимости таких услуг, дальнейшее

расширение покрытия объектами автоматизации АИУС РСЧС и развитие ее информационных ресурсов объективно приведут к использованию в МЧС России средств фиксированной спутниковой связи.

Сегодня очень хорошо себя зарекомендовали VSAT-сети. Главной особенностью этих сетей является наличие в их составе множества абонентских станций, которые позволяют достаточно просто решить задачу "последней мили" в труднодоступных районах, обеспечить интерактивный доступ к распределенным информационным ресурсам.

В настоящее время тарифы на спутниковые каналы ниже, чем на проводные, в том случае если абонент удален на расстояние более чем 300-400 км. Поэтому МЧС России положительно относится к созданию небольших VSAT-сетей на территориях со слаборазвитой телекоммуникационной инфраструктурой, центральные станции которых должны быть расположены непосредственно в региональных центрах и сопряжены с узлами доступа к наземной транспортной сети.

Типовая схема организации спутниковой сети VSAT выглядит следующим образом:

- спутник-ретранслятор, расположенный на орбите (спутник связи);
- центр управления сетью (ЦУС) компании-оператора сети VSAT, обслуживающий оборудование всей сети через спутник связи;
- оборудование (спутниковые модемы или терминалы), расположенные на стороне клиента.

Основной элемент спутниковой сети VSAT — центр управления сетью (ЦУС). Именно ЦУС обеспечивает доступ клиентского оборудования с сети Интернет, телефонной сети общего пользования, другим терминалам сети VSAT, реализует обмен трафиком внутри корпоративной сети клиента. ЦУС имеет широкополосное подключение к магистральным каналам связи, предоставляемым магистральными операторами, и обеспечивает передачу информации от удаленного VSAT-терминала во внешний мир. ЦУС оборудован мощным приемопередающим комплексом, транслирующим все информационные потоки сети на спутник связи. В состав ЦУС входит каналообразующее оборудование (спутниковая приемно-передающая антенна, приемопередатчики и пр.) и HUB (центр обработки и коммутации всей информации в сети VSAT).

На МЧС России возлагается выполнение сложных задач по спасению людей, материальных и культурных ценностей при возникновении природных и техногенных катастроф, пожаров, а также по спасению на водных объектах. Эти задачи требуют максимальной оперативности их выполнения и минимального времени для принятия управленческих решений по ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС). Качественное управление в таких ситуациях невозможно без широкого применения современных средств подвижной спутниковой радиосвязи.

### Литература

1. Концепция развития национальной системы спутниковой связи и вещания на период до 2015 года : постановление от 16 июля 2003 г. № 7.
2. Спутниковая связь для МЧС России//Технологии и средства связи, 2006. – №1.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ С ПОВЫШЕННОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТЬЮ

### *Проблемы пожарной безопасности объектов нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности*

#### Анализ статистических данных по наиболее сложным пожарам в резервуарах и резервуарных парках

*В.В. Кокорин, В.В. Качалкин, В.Ю. Коваленко,  
Уральский институт ГПС МЧС России*

Несмотря на определенный прогресс, достигнутый в обеспечении пожарной безопасности на нефтеперерабатывающих предприятиях, резервуары для нефти и нефтепродуктов остаются одними из наиболее опасных объектов. Это факт подтверждается статистическими данными по зарегистрированным пожарам на предприятиях нефтехимической промышленности России в период с 2001 по 2011 год [1].

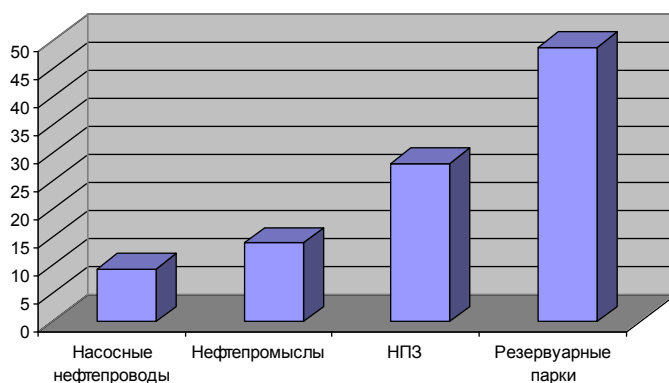


Рис.1. Объекты наиболее подверженные  
горению, %

Большее число аварий на резервуарах с нефтью и нефтепродуктами связано с целым рядом причин, которые до сих пор остаются нерешенными. Наиболее характерными из них являются: высокая пожаровзрывоопасность хранимых продуктов; множество сварных швов; большие размеры

конструкций; высокая скорость повреждений от коррозии и др. [2]. Наземные резервуары, где произошло более 90 % всех пожаров, представляют наибольшую опасность.

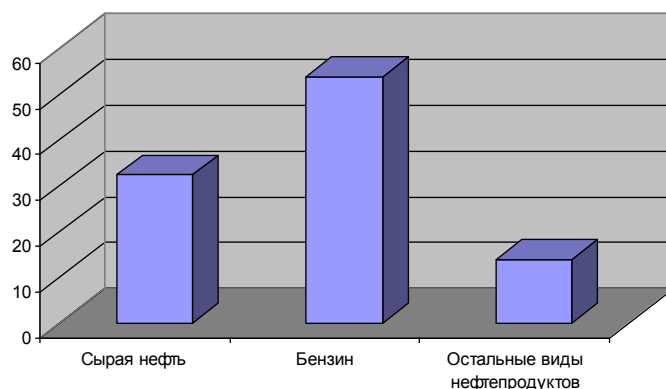


Рис. 2. Количество пожаров по виду хранимых продуктов, %

Данные о возникновении и последствиях горения на вертикальных стальных резервуарах противоречивы и немногочисленны, т.к информация зачастую ограничена. На основании обследования ЦНИИПСК [3] установлено, что общее число пожаров в 2 раза больше регистрируемых. Анализом аварий на резервуарах занимаются многие отечественные и зарубежные авторы [4, 5, 6].

За последние годы мировые запасы нефти увеличились и составляют более 200 млрд тонн. Этот показатель почти на четверть увеличился по сравнению с началом 2000-х годов.

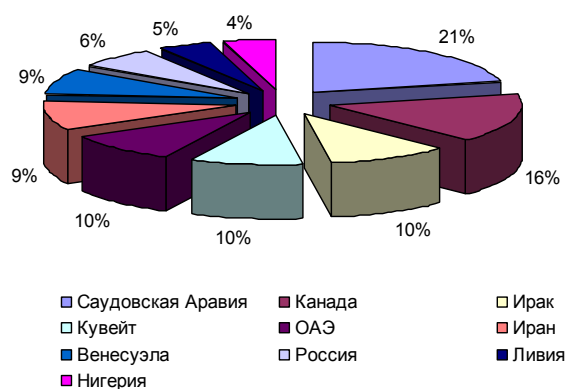


Рис. 3. Количество запасов нефти в мире

Как видно из рисунка, Россия занимает одно из лидирующих мест в мире по запасам нефти и нефтепродуктов, поэтому соблюдение всех норм в области пожарной безопасности резервуарных парков для нашей страны тоже играет важную роль. Создание резервуаров с понтоном и плавающей крышей решило одну из задач – снижение потерь нефти и нефтепродуктов при их длительном хранении. Но несовершенство конструкций, плохая эксплуатация, недобросовестный монтаж и т.д. привели к тому, что такие

резервуары стали наиболее пожароопасными. Это подтверждается крупными пожарами в нашей стране и за рубежом [1].

Так, в августе 2009 года в России произошел крупный пожар на нефтебазе «Конда». Объект находится в Ханты-Мансийском автономном округе и принадлежит предприятию ОАО «Сибнефтепровод». На момент приезда первого пожарного подразделения горение происходило в одном резервуаре объемом 20000 м<sup>3</sup>. Через несколько минут произошел взрыв паровоздушного пространства соседнего резервуара. В результате были повреждены стационарные средства тушения пожара, произошло возгорание нескольких соседних резервуаров и разлив горючей жидкости за пределами обвалования. Это все поспособствовало к резкому увеличению площади пожара. На момент возникновения пожара общий объем нефти на базе равнялся 160 тыс. м<sup>3</sup>. В связи с понижением давления воды в сети противопожарного водоснабжения были задействованы все пожарные и естественные водоемы. При тушении была привлечена специальная техника. Тушение продолжалось несколько суток на площади в 23 га. Недостатками продолжительного тушения являются: выход из строя стационарных средств тушения пожара, вскипание горючей жидкости, большая площадь распространения пожара и недостаточные запасы воды при продолжительном тушении (более 6 часов).

В декабре 2005 года в Англии произошел самый большой со времен второй Мировой войны пожар на нефтехранилище Bansfield. Это –5-е по величине нефтехранилище Великобритании, в котором содержится до 5% всех нефтепродуктов страны. Оно расположено в 40 км от Лондона и обеспечивает нефтепродуктами юго-восток Англии. В первоначальный момент пожара произошло несколько мощных взрывов, из-за которых стационарные средства тушения вышли из строя. Произошло растекание горячей жидкости по резервуарному парку, что способствовало увеличению площади пожара. Более 150 пожарных, привлеченных для тушения, ничего не смогли сделать. К тому же была угроза повторного взрыва. Тушение пришлось отложить и это только усугубило обстановку, хотя взрыв и не подтвердился. Более 60 часов продолжалась борьба с огнем, пока нефть не выгорела полностью. Недостатками продолжительного тушения являются: вскипание горючей жидкости, выход из строя стационарных средств тушения пожара, тяжелая обстановка и большая площадь распространения огня на момент приезда первых пожарных подразделений.

В октябре 2009 года произошел сильнейший пожар на нефтеперерабатывающем заводе Катано, принадлежащем компании Caribbean Petroleum в Пуэрто-Рико. Пожар начался с взрыва нескольких емкостей для хранения нефти. Первоначальный взрыв разрушил 11 резервуаров. В результате взрыва была зафиксирована сейсмическая волна, эквивалентная землетрясению с магнитудой 3 балла по шкале Рихтера, что

привело к уничтожению стационарных средств тушения пожара. Огонь быстро распространился на близлежащие резервуары с бензином, авиационным и дизельным топливом. Языки пламени достигали высоты 30 м над очагом возгорания. На момент прибытия первых пожарных расчетов ситуация уже была серьезной. На тушение были привлечены около 130 пожарных и пуэрториканская национальная гвардия. К тушению такого рода пожара на заводе не были готовы и, поэтому пришлось строить временный трубопровод подачи морской воды из залива Сан-Хуан. Материалы для пенного пожаротушения были доставлены с близлежащих Виргинских островов. В результате из 40 резервуаров нефтеперерабатывающего завода 21 были полностью разрушены. Пожар продолжался несколько суток. Недостатками продолжительного тушения являются: выход из строя стационарных средств тушения пожара, неправильный расчет требуемого количества пенообразователя и воды, слабая подготовка пожарных подразделений, вскипание жидкости.

В марте 2004 года в Техасе взорвался нефтеперерабатывающий завод, принадлежащий нефтяной компании ВР Атосо. Нефтеперерабатывающий завод является 12-м по величине в мире. После серии взрывов на заводе возник сильнейший пожар. Первые пожарные расчеты прибыли на объект в течение пяти минут. Спустя 24 часа глава местной службы по чрезвычайным ситуациям сообщил, что пожар находится под контролем и беспокоиться не о чем. Однако пожар локализовать не удалось, и огонь перекинулся на главное нефтехранилище предприятия, которое перерабатывало 447 тысяч баррелей нефти в сутки. К тушению пришлось привлекать дополнительные силы. Тушение продолжалось несколько дней. Недостатками долгого тушения являются: слабая подготовка пожарных подразделений и ошибки при локализации горения.

Как видим, описанные пожары очень серьезные, а время тушения, затраченное на них, значительное. На рисунке 4 представлены наиболее распространенные источники зажигания, приводящие к пожарам на нефтеперерабатывающих предприятиях.



Рис. 4. Основные источники зажигания

На основании выше изложенного можно с уверенностью отметить, что вопрос соблюдения требований пожарной безопасности на нефтеперерабатывающих предприятиях имеет первоначальное значение и требует более серьезного и глубокого изучения.

#### **Литература**

1. [www.mchs.gov.ru](http://www.mchs.gov.ru) - сайт МЧС России
2. Кондрашова О.Г., Назарова М.Н. Причинно-следственный анализ аварий вертикальных стальных резервуаров // Нефтегазовое дело, 2004. – №2.
3. Кандаков Г.П. Проблемы отечественного резервуаростроения и возможные пути их решения // Промышленное и гражданское строительство. – 1998. – № 5.
4. Беляев Б.И., Корниенко В.С. Причины аварий стальных конструкций и способы их устранения. – М.: Стройиздат, 1968. – 205 с.
5. Корниенко В.С. Поповский Б.В. Сооружение резервуаров. – М.: Стройиздат, 1971. – 224 с.
6. Кршупка В. Коробление корпусов крупных цилиндрических резервуаров под влиянием осадки // Перевод с чешского языка статьи журнала «Инженерские ставби». – 1974. – Т. 22. – №11. – С. 538 – 542.

#### **Установление зависимости между процессом Разрушения, вероятностью отказа и величиной ущерба критичных инфраструктур**

*Л.В Полуян., С.А. Тимашев, ФГБУН «Научно-инженерный центр  
«Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН*

К критически важным объектам (КВО) Российской Федерации относятся объекты, нарушение (или прекращение) функционирования которых приводит к потере управления, разрушению инфраструктуры, необратимому негативному изменению (или разрушению) экономики страны, субъекта (или административно-территориальной единицы) либо существенному ухудшению безопасности жизнедеятельности населения, проживающего на этих территориях, на длительный период времени. На основании классического подхода зависимость плотности вероятности аварий ( $f$ ) от величины причиняемого ущерба ( $u$ ), имеющая вид  $f(u) \approx e^{-u^2/\sigma^2}$ , где  $\sigma$  – дисперсия случайного количества аварий, на долю мелких аварий приходится около 90%, крупных – около 9% и аварий с очень малой вероятностью (характерных для КВО) – всего 1%, не учитываемый обычно в расчетах. Катастрофы последних лет показали ошибочность такого подхода.

В работе на примере линейной части магистральных трубопроводов рассматриваются критичные энергетические инфраструктуры (КИ),

относящиеся к КВО. Эксплуатация в жестких условиях температурных изменений и агрессивности воздействия внешних и внутренних факторов влечет коррозионный процесс стенок трубопровода, нарушение устойчивости всей системы КИ, возможное поражение персонала, населения, ущерб собственным материальным средствам и соседним объектам, окружающей среде. Установление зависимости между процессом разрушения, вероятностью отказа и величиной ущерба выполняется в несколько этапов. На первом этапе исследуется степень опасности и работоспособности КИ (рассматриваем ее как сложную техническую систему). Определяем возможные угрозы техногенной безопасности технической системе (строим деревья событий, отказов). Рассматриваем аварийный риск, включающий технический, экологический, экономический и социальный риски:

$$R(t) = R_{\text{tech.}}(t) + R_{\text{ecol.}}(t) + R_{\text{econ.}}(t) + R_{\text{soc.}}(t). \quad (1)$$

В общем виде количественная оценка риска выражается известной математической зависимостью

$$R = \sum_{i=1}^N p_i u_i, \quad (2)$$

где  $p_i$  – вероятность наступления  $i$ -события,  $u_i$  – ущерб от  $i$ -события,  $N$  – число рассматриваемых событий, для которых  $\sum_{i=1}^N p_i = 1$ .

На втором этапе определяем плотность распределения вероятностей отказов системы. Обычно в расчетах используются осредненные справочные значения интенсивностей отказа элементов (в нашем случае – трубопроводной системы), что может привести к завышенным оценкам безопасности и, как следствие, – к катастрофическим последствиям. Известно, что функция интенсивности отказов может быть разделена на три периода. Первый – приработки, второй – нормальной эксплуатации (характерно постоянное значение интенсивности отказов и возможны внезапные отказы), третий – постепенных (интенсивности отказов постоянно увеличиваются) и (или) катастрофических отказов. Во втором и третьем периоде эксплуатации, когда интенсивности отказов элементов постоянно растут, могут возникнуть как постепенные, так и внезапные случайные отказы. Интенсивности отказов обоих видов являются случайными величинами, имеют различные законы распределения (Рэля, Вейбулла, нормальный, логнормальный, гамма-распределение) и при оценке риска необходимо учитывать их суммарную интенсивность. Рассмотрим случай, когда интенсивности при постепенном и внезапном отказе изменяются по нормальному и экспоненциальному законам соответственно, и при условии их независимости общую интенсивность отказов представим в виде

$$\lambda_{\text{sum}}(t) = \lambda_{\text{wear}} + \lambda_{\text{sud}}, \quad (3)$$

где  $\lambda_{\text{wear}}$ ,  $\lambda_{\text{sud}}$  – интенсивности при постепенном и внезапном и отказе.

Для экспоненциального распределения интенсивность отказов равна  $\lambda(t) = \lambda_{\text{sud}}$ , а для нормального распределения –  $\lambda(t) = \frac{f(t)}{p(t)}$ ,  $f(t)$  – вероятность отказа,  $p(t)$  – вероятность безотказной работы до отказа. Тогда суммарная интенсивность отказов системы выразится в виде:

$$\lambda_{\text{sum}}(t) = \lambda_{\text{sud}} + \exp\left[-\frac{(t-T_{\text{mean}})^2}{2\sigma^2}\right] / \int_t^\infty \left[-\frac{(t-T_{\text{mean}})^2}{2\sigma^2}\right] dt, \quad (4)$$

а суммарная вероятность безотказной работы технической системы определится по формуле

$$p_{\text{sum}}(t) = p_{\text{wear}}(t) \cdot p_{\text{sud}}(t) = \exp(-\lambda_{\text{sud}}t) \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \int_t^\infty \exp\left[-\frac{(t-T_{\text{mean}})^2}{2\sigma^2}\right] dt, \quad (5)$$

где  $t$  – время, ч;  $p_{\text{sud}}(t)$ ,  $p_{\text{wear}}(t)$ , – вероятности безотказной работы до внезапного и постепенного отказов соответственно;  $\sigma$  – стандартное отклонение наработки до постепенного отказа, ч;  $T_{\text{mean}}$  – среднее время наработки до постепенного отказа, ч. Учитывая, что плотность распределения вероятности отказа (ПРВО) можно представить в виде

$$f(t) = p(t) \cdot \lambda(t), \quad (6)$$

получим ее выражение для одновременного выполнения внезапного и постепенного отказов:

$$f_{\text{sum}}(t) = \exp[-\lambda_{\text{sud}}t] \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \left\{ \lambda_{\text{sud}} \int_t^\infty \exp\left[-\frac{(t-T_{\text{mean}})^2}{2\sigma^2}\right] dt + \exp\left[-\frac{(t-T_{\text{mean}})^2}{2\sigma^2}\right] \right\} \quad (7)$$

Аналогично можно получить ПРВО (при  $n \geq 2$ ) для различных законов распределения их интенсивностей. Для упрощения расчетов удобно перейти к характеристическим функциям, полностью определяющим ПРВО.

На третьем этапе определим случайный вероятный ущерб, являющийся интегральной функцией, учитывающей величину и вероятность его возникновения. Оценку технического риска аварии КИ (повреждение элемента системы) представим в виде:

$$R(t) = U_m(t) + U_s(t), \quad (8)$$

где  $U_m(t)$  – материальный ущерб при ЧС, (млн руб/год),  $U_s(t)$  – ущерб потери здоровья (жизни) при ЧС (млн руб/год),  $t$  – время, (годы).

Материальный ущерб определяется по формуле

$$U_m(t) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M p_{ij}(t) u_{ij}(t), \quad (9)$$

где  $p_{ij}(t)$  и  $u_{ij}(t)$  – соответственно вероятность (частота) возникновения, (1/год) и величина  $j$ -го материального ущерба от  $i$ -го поражающего фактора, (млн руб.), а социальный ущерб – по формуле

$$U_s(t) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M f_{ij}(t) x_{ij}(t) \quad (10)$$

$f_{ij}(t)$  - вероятность (частота) возникновения  $j$  - го типа поражения человека от  $i$ -го поражающего фактора, (1/год) и  $x_{ij}(t)$  – соответственно величина потерь, (млн руб.).

Интегральные функции распределения ущерба и социального риска, определяемые при расчетных аварийных сценариях и представляемые в виде  $F/G$  и  $F/N$  диаграмм, позволяют построить их законы распределения.

При таком подходе лица, принимающие решения, имеют возможность проанализировать все сценарии, оценить частоту более тяжелого из них, проранжировать сценарии по степени опасности и выявить наиболее значимые факторы риска.

### **О возможности применения гранул твердого диоксида углерода при очистке резервуаров с нефтью и нефтепродуктами**

*П.И. Зыков, И.Г. Шумяков, Е.Х. Шакиров,*  
Уральский институт ГПС МЧС России

Одним из основных видов технологического оборудования в нефтегазовой отрасли являются резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов.

Значительное распространение среди указанных емкостных аппаратов получили наземные стальные вертикальные резервуары типа РВС со стационарной крышей. В целях снижения потерь от испарения нефти и нефтепродуктов созданы резервуары с понтонами (РВСП) и плавающими крышами (РВСПК). Объемы таких резервуаров колеблются от  $100 \text{ м}^3$  до  $100000 \text{ м}^3$  и более в настоящее время.

В соответствии с [1] и [2], резервуары должны подвергаться периодическим зачисткам, производство которых зависит от сорта хранимого нефтепродукта. Резервуары для нефти, мазута, моторных топлив требуется зачищать по мере необходимости, определяемой условиями сохранения качества продукта, надежной эксплуатации

резервуаров и оборудования. Резервуары зачищаются также при необходимости смены сорта нефтепродукта, наличии пиррофорных отложений, ржавчины и воды, необходимости проведения ремонта и перед проведением полной комплексной дефектоскопии.

На практике наряду с плановыми сроками очистки возникает потребность проведения очистки для устранения различного рода повреждений.

Наиболее пожаровзрывоопасными операциями эксплуатации технологических аппаратов являются: предремонтная подготовка, в рамки которой входит процесс очистки; проведение огневых работ. Согласно статистике, доля пожаров в промышленном секторе России при производстве регламентных, ремонтных и огневых работ составляет 13% от общего количества пожаров [3].

Пожары в резервуарных парках относятся к одним из наиболее сложных, носят затяжной характер и зачастую сопровождаются человеческими жертвами.

Приведенная в работе [3] статистика пожаров на резервуарах, свидетельствует о несовершенстве наиболее распространенных технологий очистки поверхности резервуаров.

Вредность, пожаровзрывоопасность и значительная трудоемкость традиционных способов очистки резервуаров приводит к срыву сроков планово-предупредительных ремонтов и дефектоскопии, длительной эксплуатации неисправных резервуаров и т.д.

Способы очистки резервуаров, используемые в настоящее время, различаются по их назначению и принципу проведения технологического процесса: ручные, механизированные и химико-механизированные [4].

Процесс очистки резервуара ручным способом проводится в два этапа. Первый этап – пропарка резервуара путем подачи острого пара в объем резервуара (предварительно отглушенного от действующих коммуникаций). Процесс пропарки длится от двух дней до нескольких недель, затем производится вскрытие люков лазов и внутренние поверхности промывают горячей (30–50°C) водой из ручного ствола под давлением 0,2–0,4 МПа. Промывочную воду вместе с отмытыми нефтеостатками, а также твердые остатки – песок, продукты коррозии – удаляют из резервуара.

Очистка резервуаров механизированным способом производится с использованием различных средств механизации процесса. Она сводится к отмывке отложений нефтепродуктов горячей или холодной водой, подаваемой в резервуар через специальные моечные машинки (гидромониторы). Далее, в случае необходимости, производится ручная доочистка и удаление продуктов коррозии.

Химико-механизированный способ очистки отличается от механизированного использованием вместо воды растворов моющих

средств. Применение моющих препаратов на основе поверхностно-активных веществ позволяет значительно повысить эффективность размыва отложений гидромониторами.

Очистка поверхностей резервуара от краски осуществляется абразивной обработкой, которая относится к огневым работам в соответствии требованиями нормативных документов. Опасность абразивной обработки заключается в том, что ее проведение сопровождается нагревом металла. При этом возможны разряды статического электричества и искрообразование.

На сегодняшний день выбор и обоснование методов очистки наружной и внутренней поверхности действующих резервуаров типа РВС весьма актуальны для повышения пожарной безопасности хранилищ нефти и нефтепродуктов [5].

В статье [6] по результатам проведенных исследований говорится об эффективности применения в процессе тушения горящего резервуара гранулированного диоксида углерода (рис. 1а). Также следует заметить, что в настоящее время автором на уровне диссертационного исследования научно обосновано использование гранул твердого диоксида углерода в целях флегматизации горизонтальных резервуаров с остатком нефтепродукта как способа обеспечения пожаровзрывобезопасности различного рода ремонтных работ.

В связи с чем, с целью экономической целесообразности применения твердого гранулированного диоксида углерода и расширения возможности его использования в сфере обеспечения пожаро- и взрывобезопасности резервуаров для жидких углеводородов, а также на основании обусловленной актуальности, в настоящем докладе предлагается использование твердого диоксида углерода для очистки резервуаров с помощью генератора потока гранул (рис. 2а) с последующим научно-исследовательским обоснованием.

Принцип очистки резервуаров заключается в следующем: из термоизолированного бункера при помощи мощного потока несущего газа, в качестве которого возможно применение диоксида углерода, гранулы посредством шланга высокого давления стремительно перемещаются в специальное операционное устройство – пистолет.

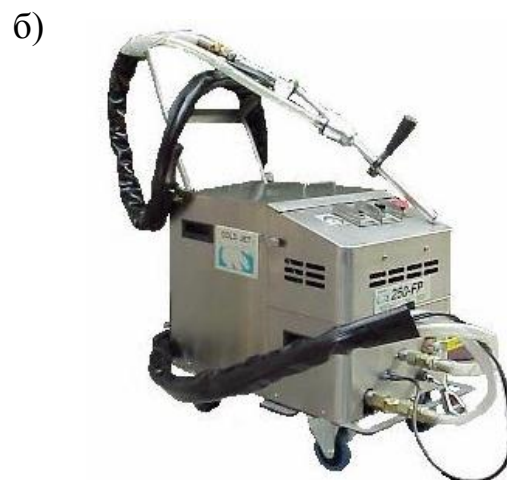


Рис. 1. а) гранулы твердого диоксида углерода;  
б) аппарат для бластинга (генератор потока гранул)

В наконечнике (сопле) пистолета (рис. 2) данные гранулы получают дополнительное динамическое ускорение и, разогнавшись до скорости 300 м/с, "выстреливаются" на очищаемую поверхность.

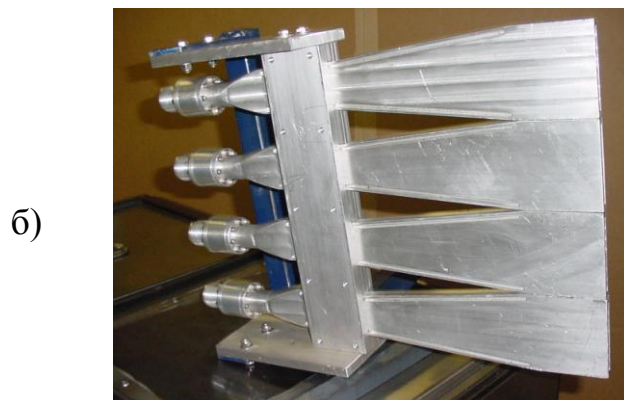


Рис. 2. Виды сопел, формирующих поток гранул в среде газа, в зависимости от поверхности и площади очистки:  
а) единичные; б) комбинированные для интенсификации процесса очистки

Соударяясь с обрабатываемой поверхностью, гранулы отделяют от нее все фрагменты загрязнения или какой-либо ранее нанесенной композиции. При этом сразу же после точечного контакта отработанные гранулы сублимируются – мгновенно без остатка превращаются в газообразное состояние.

Этот процесс идентичен процессу очистки другими абразивами, в которых вещества ускоряются в струе газа-носителя для воздействия на очищаемую или подготавливаемую поверхность. В случае применения процесса очистки гранулами диоксида углерода гранулы выступают в роли вещества, воздействующего на поверхность. Уникальный аспект использования метода очистки твердым диоксидом углерода – сублимация

(испарение) гранул диоксида углерода при соударении с поверхностью. Быстрый теплообмен между гранулами и поверхностью и рассеяние энергии при воздействии вызывают сублимацию диоксида углерода в газ. По объему газовая фаза диоксида углерода превосходит твердую в значительное количество раз, поэтому сублимация за несколько миллисекунд вызывает микро-взрыв в точке воздействия.

Как и в других процессах, кинетическая энергия, ассоциирующаяся с процессом очистки гранулами диоксида углерода, является функцией плотности, массы и скорости частиц. Так как гранулы  $\text{CO}_2$  относительно нетвердые, процесс базируется на больших скоростях для достижения необходимой энергии воздействия.

В отличие от других веществ, частицы  $\text{CO}_2$  имеют очень низкую температуру –  $78^\circ \text{C}$ . Такая температура частиц позволяет процессу очистки гранулами диоксида углерода использовать термодинамический механизм, воздействующий на разные счищаемые вещества в большей или меньшей степени. Из-за разности температур гранул и поверхности, происходит феномен термического шока. Поскольку все природные и искусственные материалы обладают различными коэффициентами температурного расширения, в условиях стремительного перепада температур это приводит к снижению адгезии между загрязнением и поверхностью – в результате происходит их расслоение. С понижением температуры материал становится хрупким, и гранулы диоксида углерода сбивают его с поверхности. Температурный градиент, или разница температур, служит более легкому преодолению связующей силы между разными материалами.

Для дальнейшего разрушения отслоившегося загрязнения требуется дополнительное сосредоточенное механическое воздействие на его структуру. Кинетическая энергия гранул, или энергия их движения, обеспечивает этот процесс.

Проникающие сквозь частицы загрязнения и ударяющиеся о твердую поверхность гранулы совершают физическую работу, в результате которой осуществляется преобразование кинетической энергии гранул в тепловую энергию. В результате нагрева происходит стремительное объемное расширение гранул (приблизительно в 500 раз), и они из твердого состояния преобразуются в газ. Образующийся между поверхностью и слоем загрязнения "газовый клин" завершает процесс их разделения.

Разность температур не вызывает микротрещин по двум причинам.

1. Как показывает данная технология, плотно внедренная в других отраслях промышленности, снижение температуры происходит только на поверхности.

2. Термические стрессы, вызванные процессом очистки, гораздо меньше тех, что происходят во время обычного обслуживания.

Термический стресс, вызванный разностью температур может быть оценен при помощи формулы (1), в которой  $\sigma_y$  – стресс,  $\Delta T$  – снижение температуры в °С,  $\alpha$  – коэффициент расширения,  $\varphi$  – коэффициент Пуассона.

$$\sigma_y = \frac{(\Delta T \cdot E \cdot \alpha)}{(1 - \varphi)} \quad (1)$$

Даже если температура обрабатываемой поверхности упадет до температуры твердого диоксида углерода (что, в принципе, невозможно), значение термического стресса не превысит значения предела деформации твердой формы металла.

Даже при больших скоростях воздействия и прямом угле направления струи кинетический эффект твердых частиц диоксида углерода минимален в сравнении с другими материалами (песок, пластик, стекло и т.д.) из-за относительной мягкости и практически мгновенной сублимации.

Сублимация диоксида углерода не создает необходимости последующей уборки чистящего вещества. Процедура хранения и сбора чистящего вещества также упрощена.

В отличие от песка, пластиковых гранул и других материалов, гранулированный диоксид углерода является безабразивным материалом. Чистка гранулированным диоксидом углерода не приводит к износу мягких частей и покрытий, по сравнению с абразивными материалами (рис. 3).



Рис. 3. Воздействие на покрытие и очищаемую поверхность от покрытия, при:  
а) очистке абразивными материалами (песок, пластик, стекло и т.д.);  
б) очистке диоксидом углерода гранулированным

В отличие от паровой или водяной очистки, чистка гранулированным диоксидом углерода не повреждает электропроводку. Возможность образования коррозии после очистки многократно снижается.

Кроме того, газ диоксид углерода относится к инертным газам и является негорючим. В результате протекания интенсивных процессов сублимации при чистке загрязненных поверхностей углеводородными композициями, образуются локальные инертные газовые зоны, что может

служить эффектом зафлегматизированного пространства в случае возможного образования местных горючих концентраций.

Немаловажный интерес по очистке данным способом может быть проявлен и к горизонтальным емкостям, в особенности предназначенным для хранения тяжелых фракций нефти. На практике данный способ был эффективно применен для очистки железнодорожных цистерн для перевозки нефтепродуктов фирмой ООО «Деметра-2000М».

Применение предлагаемого способа очистки резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов диоксидом углерода гранулированным требует дальнейшего исследования и экспериментального подтверждения, в целях обоснования своей эффективности и пожаровзрывобезопасности.

### **Литература**

1. Правила технической эксплуатации резервуаров и инструкция по их ремонту. – М.: Недра, 1988. – 270 с.
2. Нефть и нефтепродукты. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение: ГОСТ 1510-84. – М.: 1996.
3. Назаров В.П. Проблемы и методы обеспечения пожаровзрывобезопасности предприятий нефтегазового комплекса// Вестник Академии ГПС МЧС России, №4. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2006. – С. 78–87.
4. Регламент организации огневых, газоопасных и других работ повышенной опасности на взрывопожароопасных и пожароопасных объектах предприятий системы ОАО АК «Транснефть» и оформление нарядов-допусков на их подготовку и проведение. – М.: ОАО «АК «Транснефть», 2003. – 30 с.
5. Рожков А.В. Пожаровзрывобезопасность гидроабразивоструйной очистки нефтяных резервуаров: Дис. канд. тех. наук. – М.: Академия ГПС МЧС РФ, 2006. – 134с.
6. Назаров В.П., Филипчик М.В., Старков Н.Н. Тушение нефтепродуктов и полярных жидкостей в резервуаре диоксидом углерода твердым// Пожаровзрывобезопасность, 2006. – Т. 15. – №5. – С. 82–85.

### **Разрушение вертикальных стальных резервуаров вследствие ошибок при изготовлении и монтаже**

*И.В. Бекмансуров, А.В. Алимов, Уральский институт ГПС МЧС России*

Одним из опасных факторов при эксплуатации вертикальных цилиндрических резервуаров (ВЦР) является разгерметизация. Данное явление может привести к тому, что вытекающие нефть, горячая вода и другие продукты хранения, освободившиеся в результате разрушения, бурным потоком смывают все на своем пути и неминуемо вызывают

экологическую катастрофу, отравляя окружающую среду. В связи с этим весьма интересным, на наш взгляд, представляется анализ условий разрушения резервуаров и условий их изготовления и монтажа.

Стоит отметить, что проблема разрушения резервуаров известна довольно давно. Одно из первых разрушений сварного резервуара в нашей стране произошло 17 декабря 1938 г. Резервуар объемом 4685 м<sup>3</sup> внезапно разрушился, причиной тому явилось мгновенное распространение трещины по всей высоте сварного шва от дефектного места с одновременным отрывом стенки от днища и кровли. Наряду с этим, неблагоприятными были климатические условия: за несколько дней до аварии температура окружающего воздуха держалась на уровне минус 24°С и скоростью ветра 5-6 м/с. Резервуары были выполнены из сталей Ст2, Ст3, Ст5. В конце 1947 г. произошло образование трещин сразу на пяти резервуарах, причем не все трещины появились в местах соединения листов, в некоторых случаях трещины возникли в теле металла листа. Температура, предшествующая возникновению трещин, составляла порядка от -34°С до -44°С с резким северо-восточным ветром. Характер разрушения всех резервуаров был одинаковым: разрушение произошло при низкой температуре воздуха с наветренной стороны резервуара, трещины образовались в местах сопряжения стенки с днищем. В феврале 1970 г. в Якутске при температуре окружающего воздуха минус 57°С произошло разрушение ВЦР емкостью 700 м<sup>3</sup>. Трещина возникла из-за неудовлетворительного качества сварного шва, а также путем замены легированной стали 09Г2С-15 по ГОСТ 5058-65 на малоуглеродистую кипящую сталь. В декабре 1970 г. в г. Пучеж произошло мгновенное разрушение ВЦР объемом 2000 м<sup>3</sup>. По мнению экспертов, причиной тому явился глубокий непровар толщины пояса. В январе 1971 г. произошло разрушение резервуара емкостью 5000 м<sup>3</sup>. В ходе расследования было установлено, что причиной тому явилось неудовлетворительное качество сварного шва, которое спровоцировало перенапряжение всей конструкции.

Рассматривая статистику распределения разрушения резервуаров в зависимости от их объема по России за период с 1960 г. по 1995 г., можно сделать вывод о том, что наибольшая часть аварий резервуаров приходится на ВЦП объемом 5000 м<sup>3</sup>. Это связано с тем, что наибольшее распространение получили резервуары такой емкости.

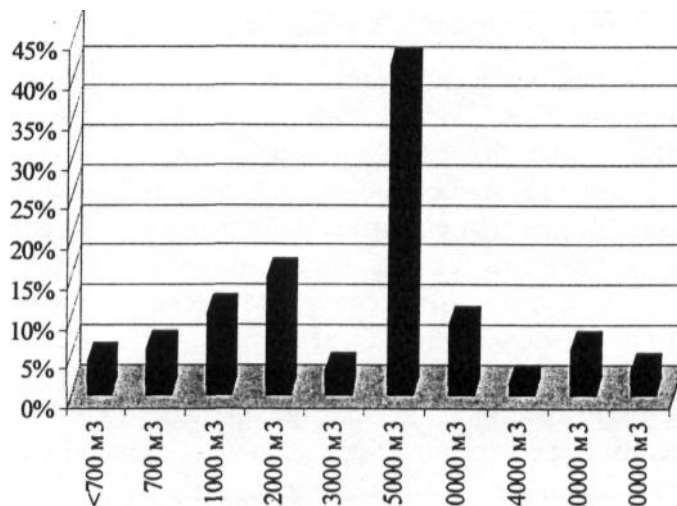


Рис. 1. Статистика разрушений резервуаров в зависимости от объема хранимой жидкости

Анализируя данные о характере разрушения резервуаров, можно сделать следующие выводы.

1. Образование трещин в резервуарах происходит чаще всего за счет неправильного выбора материалов.

2. Трещины возникают в местах сварного шва.

Рассмотрим перечисленные проблемы более подробно.

Согласно ГОСТ 31385-2008 «Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов», выбор марок стали для основных элементов конструкций резервуара должен проводиться с учетом гарантированного минимального предела текучести, толщины проката и хладостойкости (ударной вязкости), толщина листового проката не должна превышать 40 мм. Другими словами, выбор материала для изготовления составных частей РВС должен производиться с учетом климатических особенностей местности, где планируется эксплуатация сооружения. Весьма важным является то обстоятельство, что переходу стали в хрупкое состояние способствует отрицательная температура. Стали, используемые в строительстве, обычно переходят в хрупкое состояние при температурах от 0 до минус 70°C. Легирование стали способствует благоприятному понижению этой температуры за счет введения в их состав марганца, небольшое количество которого может внедряться в состав стали и изменять ее механические и другие свойства. Сопротивление стали хрупкому разрушению характеризуется ударной вязкостью. Она определяется при положительных и отрицательных температурах, а также после механического старения. Температура порога хладноломкости, установленная по ударной вязкости, составляет для стали ВСт3кп минус 10°C, ВСт3пс – минус 20°C; для низколегированных сталей минус 50°C, минус 70°C. Таким образом, чем меньше значение ударной вязкости, тем выше риск образования трещин в теле металла и тем выше

порог температуры, который может переносить материал без разрушения. Как правило, выбор материала производится еще на этапе проектирования, но проблема заключается в том, что заводы, занимающиеся изготовлением РВС, порой производят замену необходимого материала на другой без учета климатических условий эксплуатации сооружения, вследствие чего происходят образования трещин в ВЦР с последующей их разгерметизацией.

Анализируя причины разрушения резервуаров, можно сделать следующий вывод – помимо неправильного выбора материалов, аварии происходят также из-за неудовлетворительного качества сварных швов отдельных элементов сооружения. В соответствии с п. 8.1.6. ГОСТ 31385-2008 «Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов», способы и режимы сварки конструкций должны обеспечивать достаточный уровень механических свойств и хладостойкости сварных соединений, предусмотренных проектной документацией. Другими словами, прочность сварного шва должна быть сопоставима с прочностью свариваемых материалов. В зависимости от назначения свариваемых элементов в резервуаростроении применяются следующие типы соединений: внахлест, встык, угловое. Нахлесточное соединение, сваренное сплошным швом с одной стороны, допустимо только для соединений элементов днища или крыши (согласно п. 8.1.5 и п. 8.1.8 ГОСТ 31385-2008), при этом величина нахлеста должна быть не менее 60 мм для соединений полотнищ днища или полотнищ крыши и не менее 30 мм для соединений листов днища или листов крыши при полистовой сборке, но не менее пяти толщин наиболее тонкого листа в соединении. Для стыковых соединений деталей резервуара одной толщины допускается смещение свариваемых кромок относительно друг друга не более 1-3 мм в зависимости от толщины свариваемых деталей. Выпуклость или вогнутость углового шва не должна превышать более чем на 20 % величину катета шва. Приведенные выше требования не всегда выполняются организациями, производящими монтаж таких объектов: сварочные работы проводятся рабочими с низкой квалификацией, сварка конструкций производится с нарушениями требований к изготовлению, для сварки деталей выбирается не оптимальный вид сварки. Вследствие этого у РВС может наблюдаться непровар конструкций (когда поверхности свариваются только с одной стороны вместо двух положенных), использование ручной дуговой сварки не защищает свариваемые детали от поступления в зону шва примесей и газов, отсюда понижение механической прочности сварного изделия, низкая квалификация рабочего способствует образованию усадочных раковин в месте провара, что приводит к ослаблению сварных конструкций.

Строгое соблюдение, как технологий изготовления, так и монтажа РВС является весьма важной задачей, от выполнения которой напрямую

зависит безопасность населения и окружающей среды. Любое отклонение от регламента изготовления может привести к чрезвычайным ситуациям различного характера. РВС являются одним из основных сооружений, предназначенных для хранения углеводородов в нашей стране, которая занимает первое место в мире по запасам нефти и газа в мире. Поэтому, в зависимости от того, как часто будут происходить аварии, связанные с ВЦР, будет зависеть социальное, экономическое и экологическое будущее нашей Родины.

### **Основные меры защиты от опасных проявлений зарядов статического электричества во взрывоопасных зонах**

*И.Г. Сафронова, Р.Р. Гайсин, Уральский институт ГПС МЧС России*

Проблема защиты промышленных объектов от разрядов статического электричества приобрела серьезное значение в начале XX века. Бесчисленные пластмассы, искусственные и синтетические волокна, лаки и краски, нефть, нефтепродукты и другие электризующиеся жидкости – вот далеко не полный перечень веществ и материалов на поверхности и в объеме которых могут возникать, сохраняться и релаксироваться свободные электрические заряды.

Но если в быту и на производственных объектах без наличия взрывоопасных и легковоспламеняющихся веществ появление статического электричества может привести к повреждению оборудования, замедлению процессов и травмам людей, то во взрывоопасных зонах – к пожарам и взрывам, сопровождающимся гибелью людей, разрушением зданий и сооружений. В технологических процессах электризация обычно находится под контролем технологов и потому теоретически менее опасна. Более опасны операции, не связанные с постоянным контролем специалистов, такие, например, как топливозаправка.

Версия о возникновении пожара от разряда статического электричества относится к числу наиболее сложных для анализа и трудно доказуемых. В отличие от короткого замыкания в электропроводке, материальных следов разряд статического электричества не оставляет. А нюансы процессов накопления зарядов статического электричества, позволяющие выявить хотя бы косвенные признаки их причастности к возникновению пожара, большинству пожарно-технических экспертов мало знакомы.

Электризация, вызывающая разряды статического электричества, возникает при соприкосновении двух разнородных материалов из-за

неуравновешенности атомных и молекулярных сил на поверхности соприкосновения. При этом происходит перераспределение электронов с образованием двойного электронного слоя с противоположными знаками зарядов. Величина контактной разности потенциалов зависит от множества факторов: диэлектрических свойств соприкасающихся поверхностей, их состояния; давления прижатия материалов друг к другу; влажности, температуры поверхности, температуры окружающей среды.

Разряд статического электричества возникает при контакте заряженного тела или при приближении его на критическое расстояние к заземленному предмету или предмету с другим потенциалом. Разряд происходит в форме электрической искры (дуги), которая и является источником зажигания. Для того чтобы статический разряд стал источником зажигания горючей среды, должны быть выполнены пять условий: 1) должен протекать процесс появления статического заряда; 2) должно происходить накопление и поддержание заряда с достаточным электрическим потенциалом; 3) дуга (искра) разряда статического электричества должны обладать достаточной энергией для зажигания горючей смеси; 4) горючая смесь должна иметь необходимую концентрацию и энергию зажигания, меньше, чем энергия дуги (искры) статического электричества; 5) появление дуги (искры) статического электричества и горючего вещества (смеси) должны совпасть "во времени и пространстве".

Введя необходимый для определенного производственного процесса набор мер по защите от статического электричества, можно значительно повысить пожарную безопасность объекта, улучшить качество производимой продукции, снизить издержки производства.

Проанализировав объекты транспортировки, хранения и переливания в емкости ЛВЖ, нами определены следующие эффективные и часто применяемые меры по защите от разрядов статического электричества.

Резервуары и емкости объемом более 50 м<sup>3</sup>, за исключением вертикальных резервуаров диаметром до 2,5 м, присоединяются к заземлителям с помощью двух заземляющих проводников в диаметрально противоположных точках. Но необходимо учитывать, что заземление резервуара, заполняемого наэлектризованной жидкостью, исключает накопление заряда (натекающего из объема жидкости) на его стенках, но не ускоряет процесс рассеяния заряда в жидкости. Особую опасность представляет собой забор проб из резервуара сразу после его заполнения. Для светлых нефтепродуктов, имеющих низкий уровень электропроводности, необходимое время выдержки, обеспечивающее безопасность дальнейших операций, должно быть не менее 10 мин после успокоения жидкости. Заземление резервуара и выдержка необходимого времени после заполнения не дадут нужного эффекта безопасности в случаях, когда в резервуаре имеются плавающие на поверхности жидкости изолированные

предметы, которые могут приобрести заряд статического электричества в ходе заполнения резервуара и сохранять его в течение времени, значительно превышающего время релаксации заряда. В этом случае приближение к плавающему предмету заземленного проводящего тела может сопровождаться опасным искрообразованием.

Внутренние части диэлектрического трубопровода, по которому транспортируются жидкости, окрашивают электропроводными эмалями. Их наносят на поверхность в два слоя кистью или пульверизатором, и они дают пленку черного цвета, устойчивую к температуре, давлению, вакууму, агрессивным средам и радиационному облучению.

Для снижения интенсивности накопления электростатических зарядов на нефтепродуктах внутри резервуаров допускается использование металлических струн, протянутых вертикально внутри резервуаров от крыши до днища, при этом резервуар должен быть заземлен.

Автоцистерны перед входом на эстакады слива и налива нефтепродуктов должны разряжаться от статического электричества путем надежного прикосновения заземленного электрода к корпусу автомашины. Присоединение к корпусам автоцистерн металлических проводников заземляющего устройства должно осуществляться инструментом, исключающим возможность образования искр, к специальным клеммам с обеспечением надежного контакта. Автоцистерны, находящиеся под наливом и сливом горючих и взрывоопасных газов и взрывопожароопасных жидкостей, в течение всего времени заполнения и опорожнения должны быть присоединены к заземляющему устройству.

Наливные стойки (колонки), служащие для налива автоцистерн и эстакады для налива железнодорожных цистерн должны иметь заземляющие устройства. Рельсы железнодорожных путей в пределах сливноналивного фронта должны быть электрически соединены между собой и надежно присоединены к заземляющему устройству не менее, чем в двух местах.

В местах заполнения передвижных сосудов пол должен быть электропроводным; допускается заземление передвижных сосудов с помощью присоединения их к заземляющему устройству медным или стальным тросом со струбциной.

Все резиновые шланги с металлическими наконечниками, соединяющие нефтепроводы и предназначенные для налива электризующихся веществ в вагоны-цистерны, автоцистерны и т.п., должны быть заземлены проволокой диаметром не менее 2 мм или металлическим тросом сечением не менее 4 мм<sup>2</sup>, обвитым по шлангу снаружи с шагом витка не более 100 мм или пропущенным внутри, с присоединением одного конца проволоки или троса к металлическим частям нефтепродуктопровода, а другого – к наконечнику шланга. Наконечники шланга должны быть изготовлены из металла, не дающего

искры при ударе (медь, бронза, алюминий).

Скорость движения электризующихся жидкостей по трубопроводам и истечения их в аппараты, если имеется возможность образования взрывоопасных концентраций газопаровоздушных смесей, должна ограничиваться. Допустимые скорости движения жидкости по трубопроводам и истечение их в аппараты (емкости, резервуары) устанавливаются в каждом отдельном случае в зависимости от свойств жидкости, диаметра трубопровода и свойств материалов его стенок, а также других условий эксплуатации. Для снижения потенциалов в приемной емкости при закачке жидкостей с удельным объемным электрическим сопротивлением выше  $10^9$  Ом·м рекомендуется применять релаксационные емкости, представляющие собой горизонтальный участок трубопровода увеличенного диаметра, находящийся непосредственно у входа в приемную емкость.

Подача жидкости в аппараты, резервуары, цистерны, тару должна производиться ниже уровня, находящегося в них остатка жидкости так, чтобы не допускать ее разбрызгивания, распыления или бурного перемешивания. Не допускается налив горючей жидкости свободно падающей струей. Расстояние от конца наливной трубы до дна приемного сосуда не должно превышать 200 мм, в противном случае – струя направляется вдоль стенки резервуара или сосуда.

Один из наиболее эффективных методов, позволяющих устранить электризацию нефтепродуктов, - введение специальных антистатических веществ. Добавление присадок в тысячных и десятитысячных долях процента позволяет на несколько порядков уменьшить удельное сопротивление нефтепродуктов и обезопасить операции с ними. Электрическую проводимость углеводородов и нефтепродуктов наиболее эффективно повышают олеаты и нафтенаты хрома и кобальта, соли хрома синтетических жирных кислот.

Практический способ предотвращения воздействия разрядов статического электричества на среду во взрывоопасных зонах выбирается с учетом эффективности и экономической целесообразности.

## **Сравнительный анализ методов прогнозирования площади разлива нефтепродуктов из поврежденного технологического оборудования**

*В.Д. Халиков, А.Т. Хужаев, Уральский институт ГПС МЧС России*

Добыча, транспортировка и хранение легковоспламеняющихся и горючих жидкостей относятся к ряду потенциально опасных производств.

Хранение на нефтебазах и химических предприятиях больших количеств ЛВЖ и ГЖ создают потенциальную опасность возникновения различных видов аварийных ситуаций при различных видах разгерметизации оборудования, его переполнении, нарушении правил эксплуатации, при проведении ремонтных работ.

Наиболее характерной аварийной ситуацией являются пожары проливов. Они могут быть вызваны, прежде всего, полной или частичной разгерметизацией резервуаров и трубопроводов.

Статистика за 2011–2012 гг. показывает, что повреждение технологического оборудования, содержащего ЛВЖ и ГЖ, сопровождается пожарами с большой площадью разлива нефтепродукта. Прогнозирование площади разлива нефтепродуктов, согласно нормативным документам (№123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», СП 12.13130.2009, приказ МЧС России от 10.07.2009 «Методика определения расчетных величин пожарного риска», приказ №649 «Изменения, вносимые в приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404»), характеризуется интенсивностью теплового излучения.

Интенсивность теплового излучения ( $q$ ) – это мощность лучистого потока, приходящаяся на единицу облучаемой поверхности.

$$q = E_f F_q \tau, \quad (1)$$

где  $E_f$  – среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени;

$F_q$  – угловой коэффициент облученности;

$\tau$  – коэффициент пропускания атмосферы.

Известны различные степени поражения человека в зависимости от интенсивности теплового излучения, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Различные степени поражения человека (данные приведены из приказа МЧС России от 10.07.2009 №404 «Методики определения расчетных величин пожарного риска»)

Степень поражения	Интенсивность излучения, кВт/м <sup>2</sup>
Без негативных последствий в течение длительного времени	1,4
Безопасно для человека в брезентовой одежде	4,2
Непереносимая боль через 20–30 с Ожог 1 степени через 15–20 с Ожог 2 степени через 30–40 с	7,0
Непереносимая боль через 3–5 с Ожог 1 степени через 6–8 с Ожог 2 степени через 12–16 с	10,5

Сравнительный анализ метода прогнозирования площади разлива нефтепродуктов основывается на проведенных расчетах по определению интенсивности теплового излучения в зависимости от расстояния геометрического центра пролива до облучаемого объекта на примере пожара пролива АИ-92, емкости объемом 1000 л. Согласно СП 12.13130.2009, был произведен расчет интенсивности теплового излучения при пожарах пролива бензина АИ-92. В соответствии с приложением В, В1.3,г. данного свода правил, 1 л бензина АИ-92, содержащий более 70 % растворителя, разливается на площади 0,15 м<sup>2</sup>. Соответственно при данном объеме емкости принимаем площадь разлива равной 150 м<sup>2</sup>. Полученные данные представлены в таблице 2.

Расчет согласно приказу № 404 (с изменениями применяемые в № 649) по определению интенсивности теплового излучения при пожарах пролива бензина АИ-92 показывает отличие от СП 12.13130.2009. В данном своде правил при определении площади разлива учитывается свойства жидкости, а в приказе № 404 учитывается свойства поверхности.

Таблица 2. Полученные данные согласно СП 12.13130.2009 (приложения В.5)

S, м <sup>2</sup>	d, м	X, м	q, кВт/м <sup>2</sup>
150	11,29	10	21,66
150	11,29	20	7,54
150	11,29	30	3,05
150	11,29	40	1,53

При проливе на неограниченную поверхность площадь пролива  $F_{ПР}$  (м<sup>2</sup>) жидкости определяется по формуле

$$F_{\text{ПР}} = f_P V_{\text{Ж}}, \quad (2)$$

где  $f_P$  – коэффициент разлития,  $\text{м}^{-1}$  (при отсутствии данных допускается принимать равным:

1.  $5 \text{ м}^{-1}$  при проливе на неспланированную грунтовую поверхность;
2.  $20 \text{ м}^{-1}$  при проливе на спланированное грунтовое покрытие;
3.  $150 \text{ м}^{-1}$  при проливе на бетонное или асфальтовое покрытие.

Следовательно, можно произвести расчет пожара пролива емкости 1000 л при коэффициенте разлития, равном 5, 20,  $150 \text{ м}^{-1}$ . Полученные данные согласно приказу №404(изм.649) приведены в таблице 3.

Таблица 3. Полученные данные

$f_P, \text{м}^{-1}$	$S, \text{м}^2$	$d, \text{м}$	$X, \text{м}$	$q, \text{кВт/м}^2$
5	5	2,52	10	4,85
		2,52	20	1,78
		2,52	30	0,76
		2,52	40	0,39
20	20	5,05	10	4,79
		5,05	20	1,72
20	20	5,05	30	0,76
		5,05	40	0,4
150	150	13,82	10	14,61
		13,82	20	5,09
		13,82	30	2,27
		13,82	40	1,19

Согласно полученным данным, построим график зависимости расстояния от геометрического центра пролива до облучаемого объекта ( $X$ ) и теплового излучения ( $q$ ) для пожара пролива АИ-92 (рис. 1), с учетом значения интенсивности излучения, равной  $1,4 \text{ кВт/м}^2$ , для безопасной степени поражения человека,.

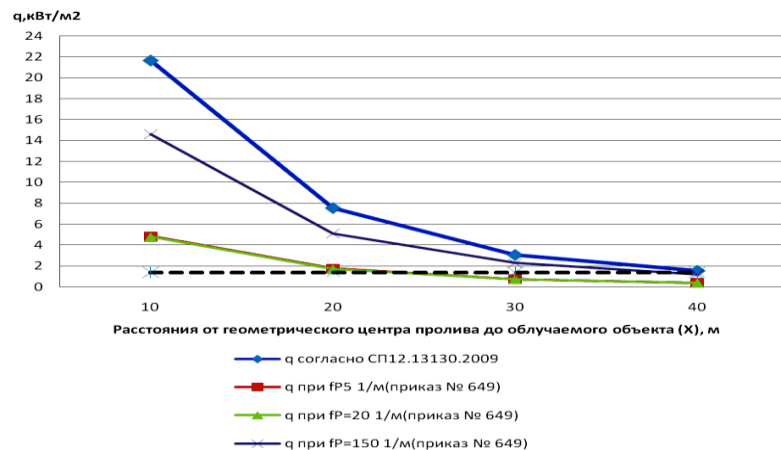


Рис. 1. Зависимость теплового излучения от геометрического центра пролива до облучаемой поверхности

Исходя из методик расчета определения интенсивности теплового излучения видно, что пороговое значение воздействия ОФП на человека согласно СП12.13130.2009, даже на расстоянии 40 м не является безопасным. По данному своду правил учитываются свойства жидкости, в отличие от него в приказе № 404 учитываются свойства поверхностей. По данному графику видны расхождения – как расчетов, так и полученных результатов. Все это объясняется применением различных параметров, учитывающих физико-химические явления и закономерности развития разлива горючих жидкостей, оказывающих влияние на сравнительный анализ прогнозирования площади разлива нефтепродуктов из поврежденного технологического оборудования и определения интенсивности теплового излучения для обеспечения безопасности людей, зданий и сооружений.

### Литература

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22.07.2008 №123.
2. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности: СП 12.13130.2009.
3. Методики определения расчетных величин пожарного риска: Приказ МЧС России от 10.07.2009 №404.
4. О внесении изменений в приказ МЧС России от 10.07.2009 №404: Приказ МЧС РФ от 14.12.2010 г. №649.
5. ГОСТ Р 12.3.047 -98 «ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля».

## **Совершенствование действий подразделений ФПС при тушении пожаров на складах нефтепродуктов**

*А.В. Пешков, В.А. Зайцев, Н.С. Зиновьев,*  
Уральский институт ГПС МЧС России

Резервуарные парки являются составной частью почти каждого объекта добычи, транспорта и переработки нефти и газового конденсата, являются составной частью стратегических ресурсов любой страны, а также различных отраслевых предприятий. За последние 25 лет зарегистрировано более 250 пожаров на резервуарах с нефтью и нефтепродуктами.

Одним из последних крупных пожаров на объектах нефтяной промышленности стал пожар, произошедший 22 августа 2009 года в резервуарном парке ЛПДС «Конда» филиала «Урайское УМН» ОАО «Сибнефтепровод».

Из-за прямого попадания разряда молнии произошло воспламенение горючих паров нефти с последующим интенсивным горением нефти в резервуаре №7. Площадь пожара составила 1632 м<sup>2</sup>. Стационарные системы пожаротушения и орошения деформированы и не работоспособны. Спустя 25 минут происходит взрыв соседнего РВС № 8, в результате которого:

1) разрушается полностью резервуар № 8, фрагменты которого взрывной волной разбрасываются в радиусе до 500 метров;

2) в зону поражения взрывной волны попал личный состав 2 отделения ПЧ-133, 2 отделения ПЧ-115 и пожарная техника, установленная на пожарных гидрантах;

4) взрывной волной нарушается целостность крыши РВС № 5 и возникает горение нефти в нем;

5) частично разрушается обвалование РВС № 8, ввиду чего горящая нефть переливается за пределы резервуарного парка, и площадь пожара увеличивается до 14 500 м<sup>2</sup>.

При тушении пожара трагически погибли наши коллеги, причиной стал взрыв резервуара и перелива нефти за пределы обвалования.

В настоящее время при строительстве или реконструкции резервуарных парков внедряется практика устройства ограждающей стены с волноотражающим козырьком (согласно ГОСТ Р 53324-2009 ОГРАЖДЕНИЯ РЕЗЕРВУАРОВ). Стена является волноотводом при разрушении резервуара, служит дополнительной защитой личного состава, участвующего в тушении от потока надвигающейся жидкости (на случай выброса нефти из горящего резервуара). Взрыв в резервуаре приводит к подрыву крыши, ее полному или частичному затоплению с последующим горением на всей поверхности горючей жидкости. Наличие данной стены

затрудняет подачу ОТВ в очаг пожара из переносных лафетных стволов и пеноподъемников. В целях модернизации процесса тушения пожара, с учетом использования волноотводной стены, нами предлагается применять водонапорную телескопическую мачту.

Водонапорная телескопическая мачта ВНТМ-8 была представлена вниманию посетителей на Международном Салоне «Комплексная безопасность-2012» компанией ООО «ВИТАНД».



Рис. 1. ВНТМ-8

ВНТМ-8 предназначена для применения в качестве специального дополнительного пожарного оборудования пожарных автомобилей, в том числе на автомобилях быстрого реагирования, а также автомобильных прицепах, для подачи огнетушащих составов в очаги возгорания на высоту, где проезд и установка авто-лестниц невозможны (узкие улицы, заблокированные припаркованными автомобилями, затяжные пожары).

В комплект поставки мачты входит:

- установленный на вершине лафетный ствол;
- дистанционное управление лафетным стволом (как кабельное, так и радиоуправляемое);
- пневматическая система.

Таблица 1. Тактико-технические характеристики ВНТМ-8

Количество секций мачты	6
Рабочая высота	8,3м
Рабочее давление	0,8 МПа
Максимально допустимое давление	1,2 МПа
Расход воды	не менее 40 л/сек
Расход водного раствора пенообразователя	не менее 40 л/сек
Перемещение лафетного ствола:	
- в горизонтальной плоскости	+175°
- вверх	90°
- вниз	20°
Дальность струи:	
- водяной	60 м
- пенной	40 м
Напряжение питания	24 В
Объем баллона сжатого воздуха	10 л
Максимально допустимое давление в баллоне	300 атм.
Максимальная ширина опорного контура	2200 мм
Габаритные размеры	2826x1600x3070 мм
Масса снаряженной установки	305 кг
Разрешённая полная масса	500 кг
Шины	165/80R13
Допустимая скорость транспортировки	90 км/час

В качестве примера эффективности применения **ВНТМ-8** выбрана НПС «Самара-1», входящая в состав площадки «Самара».

Рассмотрим два варианта тушения пожара от передвижной пожарной техники:

1. Тушение РВСП-20000 путем подачи пены средней кратности с помощью пеноподъемников на открытую площадь зеркала резервуара, а также в его каре.

2. Тушение РВСП-20000, а также каре с помощью передвижной высоконапорной мачты модели ВНТМ-8.

Таблица 2. Результаты расчётов сил и средств при различных способах тушения пожара

Параметры развития, тушения	I вариант ГПС-2000		II вариант Мачта модели ВНТМ-8	
	РВС	Каре	РВС	Каре
Ст, м <sup>2</sup>	1632	10000	1632	10000
Qтр, л/с	307,4	841	331,9	897
N приборов	8	40	4	20

Параметры развития, тушения		I вариант ГПС-2000		II вариант Мачта модели ВНТМ-8	
		РВС	Каре	РВС	Каре
N л/состава		52	112	45	80
N мсп		12	30	9	24
В том числе	АЦ	6	10	5	6
	ПНС	2	8	2	8
	АР	2	8	2	8
	КПП	2	4	0	0
W <sub>по</sub> , л (м <sup>3</sup> )		25920 (26м <sup>3</sup> )	129600 (130м <sup>3</sup> )	25920 (26м <sup>3</sup> )	129600 (130м <sup>3</sup> )
Эконом. эффект		160593			

На основе таблицы 2 делаем вывод, что при тушении резервуара, а также при пожаре в его каре целесообразнее использовать передвижную высоконапорную мачту модели ВНТМ-8, так как при тушении привлекается меньшее количество мобильных средств пожаротушения, личного состава.

#### **Выводы:**

1. Проанализированы статистические данные о пожарах в резервуарных парках и пришли к выводу, что за последние 25 лет в резервуарах и резервуарных парках на территории Российской Федерации зарегистрировано свыше 280 пожаров, т.е. в среднем около 12 пожаров в год.

2. Произведены расчеты сил и средств для тушения пожара двумя вариантами и определили, что использовать для тушения водонапорную мачту модели ВНТМ – 8 целесообразнее.

3. Произведён экономический расчёт эффективности предлагаемого решения, который составил 160593 руб.

#### **Литература**

1. ГОСТ Р 53324-2009 «ОГРАЖДЕНИЯ РЕЗЕРВУАРОВ».
2. Терещин В.В., Подгрушный А.В. Пожарная тактика. Основы тушения пожаров — Екатеринбург: «Издательство «Калан», 2008.
3. Гуревич И.Л. Технология нефти. Ч. 1.- М.: Химия, 1972.

## **Аспекты принятия решений при разливе нефтепродуктов**

*Л.А. Брусницына, Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина;  
В.В. Куликов, Уральский институт государственной противопожарной  
службы*

Ускоренное развитие нефтегазового комплекса на территории Российской Федерации требует повышения уровня безопасности технологических процессов и усовершенствования системы ликвидации чрезвычайных ситуаций. Поэтому решение этой проблемы в настоящее время является очень важной и актуальной задачей [1, 2].

Причины возникновения аварийных ситуаций на нефтедобывающих промышленных объектах можно условно объединить в следующие взаимосвязанные группы:

- отказы (неполадки) оборудования;
- ошибочные действия персонала;
- внешние действия природного и техногенного характера.

Ниже рассматриваются возможные причины возникновения аварии на нефтедобывающем производстве и кратко анализируются возможные последствия. К основным причинам, связанным с отказами оборудования на объектах добычи, хранения и транспортировки, относятся:

- коррозия оборудования и трубопроводов;
- физический износ, механическое повреждение или температурная деформация оборудования и трубопроводов;
- некачественные строительно-монтажные работы;
- прекращение подачи энергоресурсов (электроэнергии, пара, газа и т.п.);
- нарушение правил технической и безопасной эксплуатации резервуаров;
- причины, связанные с типовыми процессами;
- вмешательства посторонних лиц (террористического акта).

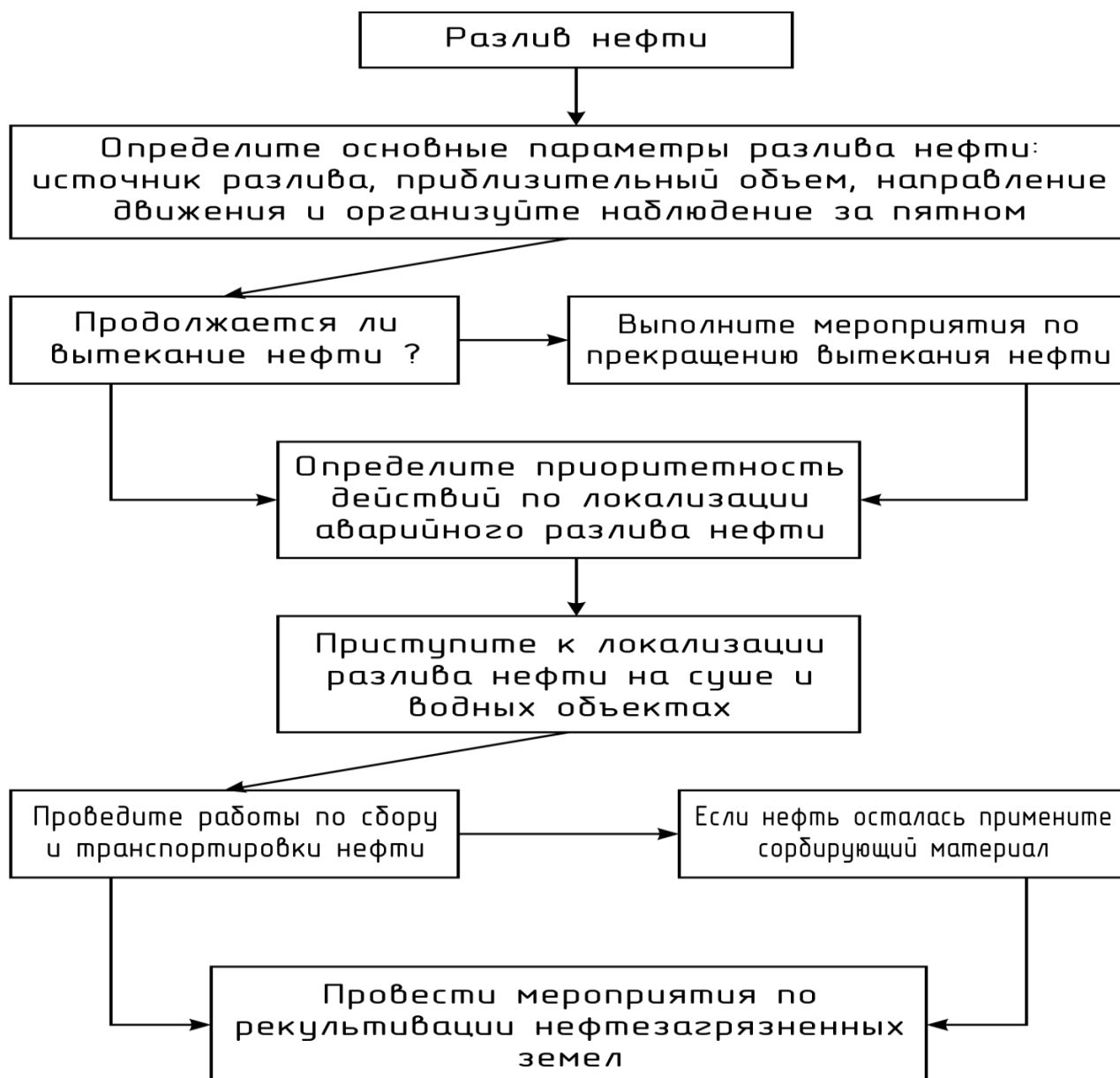
Перечисленные причины не являются равновероятными. Согласно статистике по фактам разливов нефти, нефтепродуктов, газового конденсата, подтоварных вод, буровых сточных вод, отработанных буровых растворов, повлекших загрязнение земель в 2010 году, все случаи разливов связаны с коррозией оборудования.

При реализации этих причин происходит разлив нефтепродуктов и возникает необходимость локализации этих разливов. Технологии и методы локализации ЧС определяются местом разлива [3,4].

Оперативное управление операциями ЛЧС(Н) осуществляется по следующей схеме (алгоритму) принятия решений:

- сбор информации и оценка ситуации;
- определение задач реагирования операций ЛЧС;
- разработка стратегии решения задач;
- выбор соответствующих методов, средств, технологий;
- оценка применимости и реализуемости методов с учетом характера разлива, требований обеспечения безопасности и обеспечения охраны окружающей среды;
- оценка наличия, состояния и месторасположения сил и средств;
- подготовка оперативного плана;
- получение соответствующих согласований, разрешений и допусков;
- реализация оперативного плана на местах проведения операций ЛЧС;

Графическое изображение алгоритма принятия решений, применяемого к ликвидации разливов нефти, приведено на рисунке.



Алгоритм принятия решений, применяемый в ликвидации разливов нефти

В условиях переувлажненных грунтов в некоторых случаях возможно создание системы земляных сооружений, включающее в себя дамбы, нефтенакопительные канавки и водоотводные каналы. Земляные работы, связанные с монтажом герметизирующей камеры для вскрытия поврежденного участка трубопровода, сооружением котлована для сбора нефтепродуктов, обвалование при водоотливе, а также водоотводные канавы и прочие земляные работы выполняются землеройной болотоходной техникой. Основным средством локализации разливов на болотах служат механические и сорбционно-механические способы – боновые загрождения (далее БЗ), которые обычно применяют для локализации ЧС на водных объектах, реже в условиях твердых грунтов, и при локализации ЧС на суше. При этом БЗ устанавливают с помощью

специальных комплектов оборудования.

На небольших водотоках или водоемах межбоновые пространства заполняют сорбирующим рулоном, который легко удаляется с поверхности воды. При разливах малой мощности (толщина пленки менее 1,0 мм) на водотоках с низкими скоростями течения сбор ее механизированными средствами малоэффективен. Поэтому для локализации и одновременно и ликвидации ЧС используется только БЗ сорбирующего типа.

#### **Литература**

1. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: ФЗ от 21.07.97 г. № 116-ФЗ.
2. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: ФЗ от 21.12.94 г. № 68-ФЗ.
3. О неотложных мерах по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов: Российская Федерация. Правительство.; постановление от 21.08 2000 г. № 613.
4. О порядке организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации: Постановление правительства РФ от 15.04.02 г. № 240.
5. РД 153-39.4-074-01 Инструкция по ликвидации аварий и повреждений на подводных переходах магистральных нефтепродуктопроводов.

#### **Прогнозирование последствий горения парогазовоздушного облака на базе для хранения нефтепродуктов**

*Л.А. Брусницына, Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина;  
В.С. Кошкарлов, Уральский институт ГПС МЧС России*

Увеличение числа предприятий, занимающихся хранением и переработкой нефтепродуктов на территории Российской Федерации, требует повышения уровня безопасности технологических процессов, усовершенствования системы противопожарной безопасности и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Поэтому решение этой проблемы в настоящее время является очень важной и актуальной задачей, стоящей перед системой МЧС России.

Целью прогнозирования является определение последствий горения парогазовоздушного облака, возникающего за счет интенсивного испарения разлившегося бензина, при котором возникает мгновенно сгорающий «огненный шар», обладающий очень высокой теплоотдачей.

Объектом исследования являлось предприятие ООО «Дельта – Торг» г. Пензы, которое представляет собой базу для приема, хранения и

отгрузки нефтепродуктов, основная масса которых бензины различных марок. ООО «Дельта – Торг» относится к пожаро- и взрывоопасным объектам, категория –II.

На производственном объекте бензин хранится в наружных резервуарах емкостью 5000 м<sup>3</sup> и 2000 м<sup>3</sup>, оснащенных земляным обвалованием различной площади. На территории объекта находятся производственные малоэтажные кирпичные здания с бетонными перекрытиями. Здания на территории объекта находятся на разном расстоянии от обвалования емкостей для хранения углеводородов: административное здание – 100 м, механические мастерские, гараж и котельная – 50 м.

В рамках данной работы рассматривается условно более простые варианты чрезвычайной ситуации, когда происходит возгорание отдельного резервуара. На практике очень часто возникают ситуации, при которых авария в одном резервуаре нефтепродуктов вызывает возникновение аварий в других хранилищах. Решение этой проблемы является более сложной многофакторной задачей.

Прогнозирование проводилось согласно методикам, приведенным в [1–3]. Для прогнозирования последствий горения парогазовоздушного облака использовались детерминированный и вероятностный методы. Поражающим фактором при горении является термическое воздействие, которое количественно выражается плотностью падающего теплового потока ( $q^{nad}$ , кВт/м<sup>2</sup>). Детерминированный метод основан на определении безопасной зоны для человека, которой соответствует  $q^{nad} = 4$  кВт/м<sup>2</sup>. При вероятностном методе прогнозирования рассчитывается значение «пробит-функции», исходя из значений которой определяется вероятность термического поражения

При прогнозировании принимается, что источник зажигания в обваловании отсутствует и бензин испаряется с образованием паровоздушного облака, которое воспламеняется с образованием огненного шара.

*Исходные данные для расчета:*

Объем резервуаров равен 2000 м<sup>3</sup> и 5000 м<sup>3</sup>, температура воздуха  $t_a = 30$  °С (303 К), молекулярная масса бензина  $M = 94$  кг/кмоль, скрытая теплота испарения  $L_{исп} = 287300$  Дж/кг, температура кипения  $T_{кип} = 413$  °К.

Геометрические размеры образовавшегося «огненного шара», определяются массой легколетучей жидкости, перешедшей в парообразное состояние. Масса паров рассчитывалась с учетом скрытой теплоты испарения, молекулярной массы бензина, температуры кипения бензина и температуры окружающей среды. Расчет интенсивности испарения бензина проводился, исходя из давления насыщенных паров бензина и времени испарения.

В результате проведенных расчетов определены основные

характеристики процесса, геометрические размеры «огненного шара», границы безопасной зоны и вероятность гибели людей на разных расстояниях от центра горения.

Характеристики горения «огненного шара» при авариях в резервуарах различной емкости представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики горения «огненного шара» при авариях  
в резервуарах различной емкости

Объем Резервуара $V, \text{ м}^3$	Масса паров бензина, $m_{\text{п, исп}}, \text{ кг}$	Диаметр огненного шара, м	Высота центра огненного шара, м	Время горения огненного шара, с	Безопасное расстояние, м
2000	941	50	25	7,3	100
5000	1466	58	29	8,4	100

Сравнительные значения величины плотности теплового потока ( $q^{nao}$ , кВт/м<sup>2</sup>), «пробит-функции» (Pr) и вероятности летального поражения людей (P,%) на разных расстояниях от очага горения представлены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительные характеристики плотности теплового потока и вероятности летального поражения людей при возгорании резервуаров различного объема

Расстояние до центра горения, м	$V=2000 \text{ м}^3$			$V=5000 \text{ м}^3$		
	$q^{nao}$ , кВт/м <sup>2</sup>	Pr	P, %	$q^{nao}$ , кВт/м <sup>2</sup>	Pr	P, %
25	21,2	9,13	100	23,0	9,41	100
50	9,71	6,47	93	12,7	7,39	99
75	4,85	4,11	19	6,62	5,17	57
100	2,49	1,85	0	1,82	0,77	0

Анализируя данные табл. 1 и 2, можно сделать вывод о том, что детерминированный и вероятностный методы дают сопоставимые результаты. В том и другом случае внешняя граница безопасной зоны составляет 100 м.

### Литература

1. ГОСТ Р 12.3.047-98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
2. Прогнозирование и оценка обстановки при чрезвычайных ситуациях: Учеб. пособие / Л.А.Брусницына. - Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2010. - 143 с.
3. Мاستрюков Б.С. Опасные ситуации техногенного характера и защита от них: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / Б.С. Мاستрюков. - М.: Издательский центр «Академия», 2009. - 320 с.

## ***Проблемы противопожарной защиты особо важных объектов экономики***

### **Проблемы пожарной опасности отвалов мягких древесных отходов и пути их решения**

*Гиндулин И.К., Старцева Л.Г., Пушкарева Н.С.,  
Уральский институт ГПС МЧС России*

Процесс обработки и переработки древесины во всех производствах связан с получением большого количества отходов. Ежегодно в России заготавливается до 130 млн м<sup>3</sup> древесины, при этом до 50...60 % срубленного леса превращается в отходы. В результате переработки древесины на лесоперерабатывающих и деревоперерабатывающих предприятиях образуются отходы в виде “зелени”, веток, коры, горбыля, кусковых отходов и мягких древесных отходов (стружка, опилки и древесная пыль). Несмотря на то, что на сегодняшний день возможна утилизация до 95% указанных выше отходов с использованием современных технологий, в нашей стране по-прежнему перерабатывается лишь их малая часть, а остальное поступает в отвалы.

Широко распространенным видом органических отходов, поступающим в отвалы, являются древесная пыль, щепа и опилки. В крупных центрах переработки древесины большие скопления отходов на полигонах вызывают серьезные проблемы в экологическом и пожароопасном планах. Продукты разложения древесины отравляют воды и почвы на прилегающих к месту складирования территориях. Длительное нахождение мягких древесных отходов в отвалах может привести к их самовоспламенению из-за самопроизвольного нагревания внутренних слоев куч. Отвалы часто тлеют, задымляя вокруг пространство и создавая много проблем.

Одним из наиболее востребованных способов утилизации указанных древесных отходов является их использование в качестве местного топлива при сжигании в котлах для получения тепловой энергии.

Однако их сжигание без предварительной обработки вызывает ряд технических проблем: высокая влажность и смерзаемость (особенно в зимний период времени с минусовыми температурами), сложности при транспортировке и т.д. Решением данных вопросов является изготовление прессованных брикетов. Брикетирование отходов деревообрабатывающих производств позволяет получить доступный источник энергии без загрязнения окружающей среды. Брикеты из древесных отходов практически не содержат серы, поэтому в продуктах их сгорания отсутствуют SO<sub>2</sub> и SO<sub>3</sub>, а содержание CO минимально.

Отходы древесины, имеющие низкую насыпную плотность, после

брикетирования уменьшаются в объеме в несколько раз, становятся транспортабельными и удобными в применении, облегчаются погрузочно-разгрузочные работы. Насыпная масса опилок составляет 150...200 кг/м<sup>3</sup>, а средняя насыпная масса брикетов из них (при влажности 15%) - 460...1100 кг/м<sup>3</sup>.

Технология производства брикетов обычно включает следующие стадии: сушка сырья, прессование (брикетирование) и упаковка готовой продукции. Качество брикета в значительной мере зависит от влажности исходной древесной смеси. В соответствии с общепризнанными европейскими стандартами на топливные брикеты, влажность исходного сырья не должна превышать 10...12%. При более высокой влажности брикет разрушается под действием внутреннего давления влаги, возникающего при сжатии измельченной массы.

Предлагаемая нами усовершенствованная технология производства брикетов предусматривает внесение изменений на стадии сушки, что позволяет в значительной мере улучшить механическую прочность и калорийность брикетов. Основным фактором, определяющим механическую прочность, водостойкость и калорийность брикета, является его плотность (с ростом плотности калорийность возрастает). При этом плотность полученных нами брикетов выше ныне выпускаемых и составляет 1300 кг/м<sup>3</sup>, что позволяет значительно увеличить удельную теплотворную способность на 10...12%.

Для примера в таблице приводится сравнительная характеристика брикетов, получаемых нами и выпускаемых в Швеции (по требованиям шведского стандарта SS 18 71 21) по ряду показателей.

Сравнительная характеристика брикетов

Характеристика	Единица измерения	Стандарт SS 18 71 21	Сравниваемый объект
Теплотворная способность	МДж/кг	не менее 16,9	не менее 19
Содержание влаги	%	не более 10...12	около 0
Содержание серы	%	не более 0,08	не более 0,08
Содержание золы	%	не более 0,7...1,5	не более 0,5

Потребность в топливных брикетах постоянно возрастает в связи с ростом цен на энергоносители. Получаемый в результате брикетирования топливный материал благодаря высоким потребительским свойствам находит широкое применение как в энергетике, так и в домашнем хозяйстве.

## **FIRE PROTECTION IMPROVEMENT IN TECHNOLOGICAL PROCESS OF AMMONIUM NITRATE PRODUCTION**

*Романова И.Н., Ваганова И.В., Билан Д.А.,  
Уральский институт ГПС МЧС России*

Ammonium nitrate ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) is currently the most common mineral fertilizer. It is widely used in agriculture as a nitrogen fertilizer and it is promising ingredient for compound fertilizers.

However, the enterprises which prepare and produce ammonium nitrate have many hazardous units and installations. The slightest misuse and non-compliance can result the technological accidents. Industrial scale, technological processes intensification of ammonium nitrate production are accompanied by problems related to environmental and fire hazards. It is necessary to solve these problems determining and removing the main causes of accidents. Also it must be evaluated the production and products requirements according to modern standards. Analysis of the nature and causes of accidents in the chemical industry shows that most accidents are related to explosions of various chemical substances in machines, in industrial buildings and open process units.

The most hazardous fire - explosion situation in ammonium nitrate production results from the escape of ammonia from the devices on the outside of process units. This situation may lead to catastrophic consequences. The ammonia output from the damaged process equipment usually leads to the formation of explosive atmosphere and in the presence of an ignition source to an explosion of fuel mixture or a fire.

The analysis of accidents demonstrates that

1. -the main number of accidents - (about 80%) - is due to a violation of the technological process;
2. -13% of preparing the equipment to repair, or receiving the repaired equipment;
3. 6% - for another reason.

The greatest danger for production and processing is damage and accidents of processing equipment and pipelines where a significant amount of combustible substances come out, causing a dangerous accumulation of flammable gases, fumes in open areas.

The main sources of ignition at the nitric acid neutralization with ammonia are the following:

1. Open flames and sparks during gas and electric welding works;
2. Thermal manifestation of mechanical energy;
3. Thermal manifestation of a chemical reaction: ( for example, thermal decomposition of ammonium nitrate in the heat exchangers)
4. Thermal power manifestation (for example, mechanical failure of electrical equipment).

To improve the fire protection process of ammonium nitrate production it is proposed a number of necessary measures such as installation of additional automatic locking and electric valves; in cases of stoppages for repairs it is necessary to the machines by inert gas, nitrogen;

Installation of fire-resistant membranes in the cable duct of granulation tower.

Implementation of these measures will reduce fire and explosion hazard of ammonium nitrate production process.

### **Снижение пожарной и экологической опасности АЗС путем улавливания легких фракций углеводородов**

*М.В. Криворогов, Т.В. Штеба, Ю.В. Мельниченко,*  
Уральский институт ГПС МЧС России

Борьба с потерями нефтепродуктов – одна из важнейших проблем топливно-энергетического комплекса. Основным видом потерь, полностью не устранимых на современном уровне развития средств транспорта и хранения углеводородов, являются потери от испарения из резервуаров и других емкостей. Это обусловлено таким специфическим свойством нефтепродуктов, как испаряемость легких фракций углеводородов при их хранении. Согласно расчетам, в России автозаправочные станции общего пользования выбрасывают в течение года более 140 тыс. тонн паров углеводородов, в Германии – 145 тыс. тонн, в Англии – более 120 тыс. тонн [1].

Данные статистики по потерям нефтепродуктов при их хранении и транспортировке представлены на рисунке.

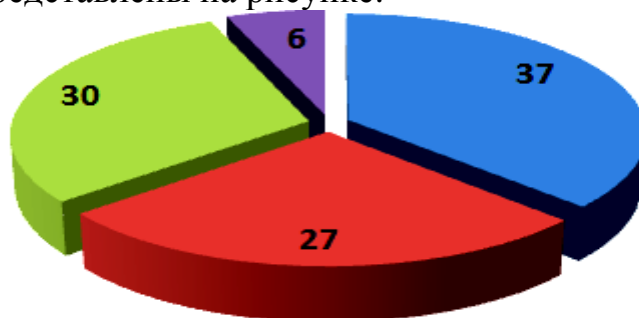


Рисунок 1. Распределение потерь нефтепродуктов:

- при хранении (37 %);
- при ж/д и автомобильных перевозках (27 %);
- магистральные трубопроводы (30 %);
- другие (6 %).

Ущерб, наносимый выбросами с автозаправочных станциях, является экономическим (прямые потери собственников АЗС), экологическим (загрязнение воздуха в месте расположения АЗС). Наиболее актуально этот вопрос стоит в крупных городах-мегаполисах, т.к., с одной стороны, в них высока плотность застройки, с другой, большая концентрация автотранспорта.

Кроме того, АЗС являются объектами повышенной пожарной опасности. Опасность АЗС характеризуется пожаровзрывоопасными свойствами обращающихся на ней горючих веществ (бензины и дизельные топлива), их количеством, возможностью образования взрывоопасных концентраций паров в оборудовании и на открытой площадке, возможными источниками зажигания и путями распространения пожара.

Основные виды выбросов при испарении – это потери то насыщения, от «больших дыханий», от «малых дыханий», от «обратного выдоха».

Из вышеперечисленных потерь наибольшее количество паров выбрасывается в атмосферу в результате «больших дыханий». Большим дыханием называют вытеснение паров наружу или подсос воздуха внутрь аппаратов при изменении уровня жидкости в них. Так, при сливе топлива в резервуар за один цикл «большого дыхания» в атмосферу может вытесняться до 30 кг паров (в зависимости от количества сливаемой жидкости). При этом возможный объем зоны взрывоопасных концентраций на территории АЗС может составить более 1400 м<sup>3</sup> [3].

В Европе комиссия по охране окружающей среды еще в 90-х гг. приняла рабочий документ «Стадия-1» и «Стадия-2» по установке газоуловительных систем на резервуарах хранения нефтепродуктов. Это позволило вернуть 76 % выбрасываемых углеводородов в атмосферу. В нашей стране первыми с проблемой загрязнения окружающей среды от АЗС столкнулись жители Москвы и Московской области. Был выпущен ряд постановлений о мерах и требованиях к установке систем улавливания легких фракций углеводородов.

Все существующие на сегодняшний день способы улавливания и рекуперации паров бензина из паровоздушной смеси (ПВС) по способу реализации можно классифицировать следующим образом:

- захолаживание паровоздушной смеси в холодильниках (без изменения давления) до конденсации углеводородов в жидкую фазу (криогенные технологии);
- сжатие смеси с одновременным захолаживанием до конденсации паров;
- прямое сжигание углеводородов (при их высокой концентрации в ПВС);
- адсорбция углеводородов из смеси адсорбентом с последующей десорбцией;

- разделение ПВС на мембранах, обладающих определенной селективностью;
- абсорбция углеводородов из смеси абсорбентом с последующей десорбцией и разделением фракций.

Каждый из перечисленных способов обладает своими достоинствами и недостатками. Например, способ абсорбции паров углеводородов из ПВС охлажденным абсорбентом в режиме противотока является перспективным. Такая организация процесса при атмосферном давлении позволяет избежать взрывоопасных ситуаций, обеспечить качественное и надежное осуществление процесса при минимальных энергетических затратах.

Отрицательной чертой использования абсорбента в установках является необходимость его регенерации. Что приводит к увеличению стоимости эксплуатации установки. Несмотря на это, процесс абсорбции в системах улавливания светлых нефтепродуктов в ряде стран используется достаточно широко.

Исследования вентиляционных выбросов показали высокую степень улавливания паров бензина (60 % летом и 90 % зимой) при использовании адсорбционной установки улавливания паров бензина. Процесс рекуперации паров базируется на адсорбции паров углеводородов активированным углем и десорбцией посредством вакуума, с последующей абсорбцией – поглощением концентрированных углеводородов жидким абсорбентом (бензином, дизельным топливом и др.). Достоинством установки является высокая степень улавливания паров углеводородов, простота и безопасность эксплуатации, отсутствие загрязнения атмосферы и грунтовых вод. Недостатки установки: высокая стоимость, возможность резкого повышения температуры углеродного фильтра, необходимость утилизации отработанного активированного угля, возможен выброс паров в случаях остановки системы для выполнения профилактических или ремонтных работ.

Одной из современных разработок является опытная установка ЭРЕСТ со степенью улавливания паров бензина 65...80%. Достоинство установки: простота монтажа, возможность одной установкой «обслужить» все резервуары АЗС, низкие эксплуатационные расходы (0,17 кВт·ч/литр конденсата); низкие амортизационные отчисления, длительный ресурс работы (более 10 лет). Суть работы установки заключается в следующем: ПВС, вытесняемая из резервуара, поступает в теплообменник, в котором происходит частичная конденсация легких фракций и влаги, содержащейся в ПВС. Далее предохлажденная ПВС поступает на вторую ступень охлаждения, где происходит окончательная конденсация углеводородов (финишная очистка). Оставшиеся пары выходят в атмосферу через дыхательный клапан, совмещенный с огнепреградителем. Конденсат по трубопроводу поступает в бак-накопитель конденсата. По

мере его заполнения происходит слив жидкости. При сравнительной характеристике систем улавливания паров наиболее приемлемой в соотношении цена-качество, по нашему мнению, является технология «Эрест».

Как видим, рассмотренные установки улавливания паров имеют как достоинства, так и недостатки. Выбор наилучшей технологии зависит от многих факторов, в частности от особенностей эксплуатации объектов, их расположения, эффективности улавливания паров, стоимости и т.п.

Правильный выбор системы улавливания паров позволит полностью решить проблему с выбросами АЗС, что будет конкретной мерой по улучшению и оздоровлению воздушной среды Екатеринбурга и в целом Свердловской области. Всего же в области более 500 автозаправочных станций, из них лишь около 5 % оборудованы системами улавливания лёгких фракций.

Применение установок по улавливанию паров на основе разработанных и предлагаемых технологий позволит уменьшить пожароопасность АЗС, улучшить экологическую обстановку и условия труда обслуживающего персонала АЗС, сохранить на объектах дорогостоящие нефтепродукты, повысить срок службы резервуаров и т.д.

#### **Литература**

1. Александров А.А., Архаров И.А., Емельянов В.Ю. Обзор действующих систем улавливания паров нефтепродуктов/ журнал «Современная АЗС» №№ 10, 11, 12 – 2005 г.
2. Нечаева Е.А., Штеба Т.В. Способы сокращения потерь легких фракций углеводородов как эффективная мера противопожарной защиты нефтебаз и АЗС/ Совершенствование противопожарной защиты производственных объектов с повышенной пожарной опасностью: Материалы межвузовской научно-практической конференции, посвященной 80-летию Уральского института ГПС МЧС России. – Екатеринбург: Издательство ГОУ ВПО «Уральский институт государственной противопожарной службы МЧС России», 2008. – С. 22 - 25.
3. Кедяров С.А., Штеба Т.В. Разработка инженерно-технических мероприятий по совершенствованию противопожарной защиты традиционной автозаправочной станции г. Алатырь/ Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Российской Федерации: V Всероссийская научно-практическая конференция (26 октября 2011 года). – Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2011. – Ч. 1. – 51 с.

## **Беспроводная система пожарной сигнализации, ее достоинства и недостатки**

*А.Т. Хужаев, Г.В. Ваганова, А.А. Корнилов,  
Уральский институт ГПС МЧС России*

Пожарные извещатели являются основными элементами автоматических систем пожарной и охранно-пожарной сигнализации, исходя из №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», ст. 2 Основные понятия, п.25. Автономный пожарный извещатель – устройство, реагирующее на определенный уровень концентрации аэрозольных продуктов горения (пиролиза) веществ и материалов и, возможно, других факторов пожара, в корпусе которого конструктивно объединены автономный источник питания и все компоненты, необходимые для обнаружения пожара и непосредственного оповещения о нем. (СП 5.13130.2009 п. 3.6). Эффективная работа системы пожарной сигнализации зависит от правильного выбора и размещения пожарного извещателя для конкретного объекта. Исходя из СП 5.13130.2009 главы 13 «Системы пожарной сигнализации», можно решить данную проблему. При рассмотрении производственных объектов возникают вопросы по реализации и введению в эксплуатацию оборудования пожарной сигнализации. Выбор типа пожарного извещателя согласно проекту промышленного объекта, стоимость монтажа, оборудования заставляет даже специалистов усомниться в решении при проектировании и обеспечения безопасности своего производства в целом. В зависимости от объекта, в котором заключается разновидность технологического процесса (содержания горючей нагрузки, пожароопасного оборудования), существуют разные подходы к совершенствованию систем пожарной сигнализации. По данному вопросу можно обратиться в СП 5.13130.2009. приложение М (рекомендуемое) «Выбор типов пожарных извещателей в зависимости от назначения защищаемого помещения и вида пожарной нагрузки», таблица М.1.

Если взять в пример Уральский завод химического машиностроения города Екатеринбурга и в упрощенной форме рассмотреть подбор беспроводной системы пожарной сигнализации в цехе сборки и хранения оборудования высокого давления высотой этажа 6 м и площадью около 2000 м<sup>2</sup>, то можно столкнуться с некоторыми проблемами. Ввиду своей специфики установлены точечные дымовые пожарные извещатели с дополнительным набором других видов извещателей и с системой АУПТ. У этой системы есть минусы: повышенные затраты на установку, монтаж, техническое обслуживание и уход данных пожарных извещателей,

воздействие загрязненности, вероятность ложных срабатываний (точечных дымовых ПИ). Линейный дымовой пожарный извещатель обеспечивает высокий уровень противопожарной защиты, высокая стоимость оборудования при использовании однокомпонентных линейных извещателей с пассивным рефлектором компенсируется за счет снижения расходов на кабель, на монтажные, пусконаладочные работы и на техническое обслуживание.

Решающими факторами установки пожарных извещателей в охраняемом помещении являются их качество, надежность опознавания пожара и наработка на отказ.

Построив математические модели структур беспроводной и проводной систем пожарной сигнализации, можно заметить четкую взаимосвязь составляющих. Что касается срока службы всей системы, она определяется временем работы ПИ, ПКП.

Полной характеристикой надежности системы длительного использования, учитывающей ее состояние, безотказность и восстанавливаемость, является вероятность нормального функционирования (общая надежность). Общая надежность определяется из формулы для полной вероятности сложного события. Результаты расчетов показаны на графиках (рис. 1, рис. 2).

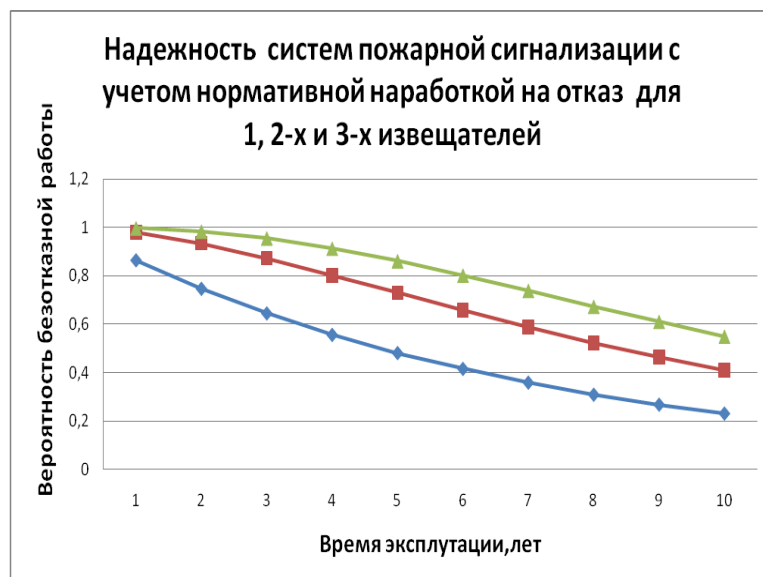


Рис. 1.

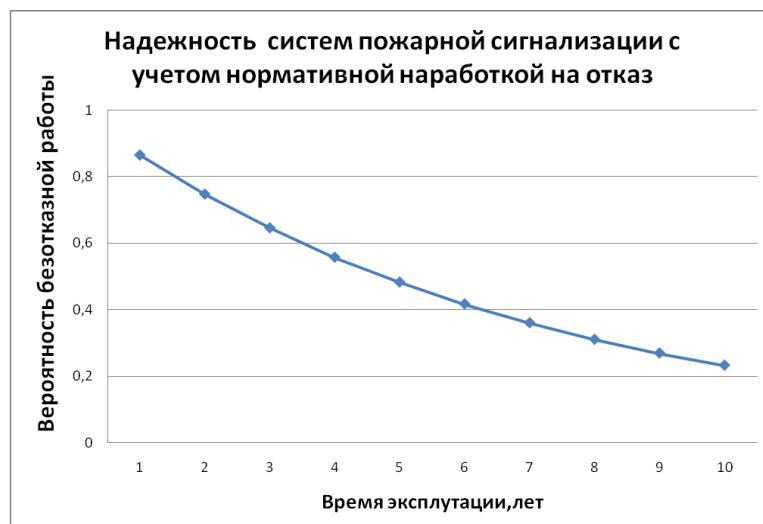


Рис. 2.

Полученные данные наглядно показывают, что более надежное оборудование имеет более высокие стоимостные показатели, и система на низконадежном оборудовании будет в 2... 2,5 раза дешевле в момент покупки оборудования. Однако при двукратном увеличении извещателей в низконадежной системе стоимость систем сравняется, а при трехкратном увеличении низконадежная система станет дороже примерно на 40...45%, так и не достигнув требуемого показателя надежности, т.е. затраты на ее создание неэффективны.

Стоимость затрат на техническое обслуживание систем с одинаковым количеством извещателей и прочего оборудования для низконадежной системы в полтора-два раза выше, чем для высоконадежной системы, так как придется часто менять оборудование на новое. Но с ростом количества извещателей в 2 или 3 раза для низконадежной системы пропорционально вырастут затраты на обслуживание. Для затрат на ремонт или замену пожарных извещателей можно сделать стоимостную оценку.

Стоимостная оценка пожарных извещателей	$З_p = N \cdot Q \cdot C,$ <p>N - общее количество извещателей системы;  Q - вероятность отказа за период работы;  C - стоимость извещателя</p>
---	---

Результаты расчетов показаны на графике (рис.3).

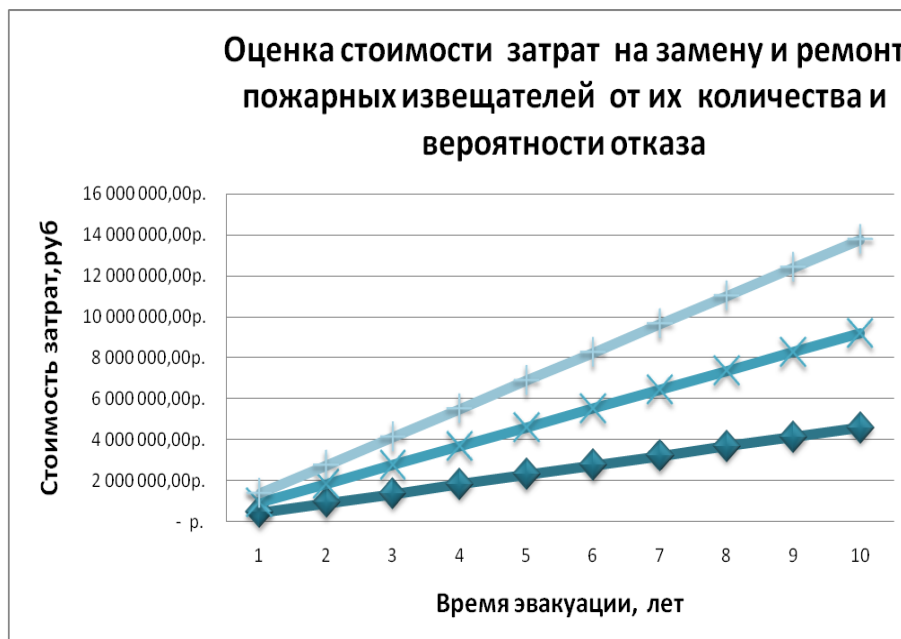


Рис. 3.

Согласно ФЗ-123 (основным критерием выбора оборудования для системы пожарной сигнализации и управления автоматикой является степень влияния технической надежности элементов системы пожарной сигнализации на расчетные величины пожарного риска в зданиях различных классов функциональной пожарной опасности) и расчетам проведенных по методикам утвержденным МЧС России можно сделать вывод, что высоконадежное оборудование позволяет снизить эксплуатационные расходы до пяти раз. По результатам изучения новых законов, регламентов и методик, использование высоконадежного оборудования может обеспечить необходимый уровень пожарных рисков и действительно спасти от пожара, обеспечив при этом экономию ваших средств, а также стандарты на системы безопасности должны требовать создания и использования высоконадёжного оборудования, как это принято в технически высокоразвитых странах.

При одиночной установке извещателей в помещении система становится непригодной для выполнения функции опознавания пожара через год, а при установке двух извещателей в помещении – через два с половиной года. При этом если данные извещатели запрограммированы в ПКП перекрестно (тревога только в случае срабатывания обоих извещателей), то время пригодности обоих извещателей снова падает до года.

#### Литература

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: ФЗ №123, 22 июля 2008 г.
2. СП 5.13130.2009 «Системы противопожарной защиты установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования».
3. [www.daily.sec.ru/publication.cfm?pid=24286](http://www.daily.sec.ru/publication.cfm?pid=24286).

## **Традиционные и альтернативные способы защиты от прямых ударов молнии в здания и сооружения**

*А.Ю. Сафонов, И.Г. Сафронова, Уральский институт ГПС МЧС России*

Прямое попадание молнии в производственные объекты не редко является источником пожаров и взрывов. Разница потенциалов электрических зарядов между облаками или частицами облаков и землей, особенно в летние месяцы приводят к возникновению грозовых фронтов. Наиболее часто молния возникает в кучево-дождевых облаках, тогда они называются грозовыми, иногда молния образуется в слоисто-дождевых облаках, а также при вулканических извержениях, торнадо и пылевых бурях. Различают три основных типа молний: наземные, внутриоблачные, молнии в верхних слоях атмосферы. Серьезную пожарную опасность представляют наземные молнии, так как в этом случае происходит непосредственное соприкосновения канала молнии с поражаемым объектом. При прямом попадании молнии в объект происходит термическое, электрическое и механическое воздействие на объект. Особую опасность прямой удар молнии представляет для зданий и наружных установок, где по условиям технологического процесса возможно образование взрывоопасной среды.

В настоящее время уберечь здания, сооружения и наружные установки от молнии, которая долгие тысячелетия казалась непреодолимой и непредсказуемой стихийной силой, возможно с определенной вероятностью, установленной нормативными документами по молниезащите. Наибольшее распространение для защиты от прямых ударов молнии зданий, сооружений и наружных установок получили традиционные способы, так называемая внешняя молниезащита.

Внешняя молниезащита представляет собой систему, обеспечивающую перехват молнии и отвод её в землю, тем самым, защищая здание (сооружение) от повреждения и пожара. В момент прямого удара молнии в объект правильно спроектированное и сооруженное традиционное молниезащитное устройство должно принять на себя ток молнии и отвести его по токоотводам в систему заземления, где энергия разряда должна безопасно рассеяться. Прохождение тока молнии должно произойти без ущерба для защищаемого объекта и быть безопасным для людей, находящихся как внутри, так и снаружи этого объекта. Традиционными мерами защиты от прямых ударов молнии является установка отдельно расположенных или установленных на защищаемом объекте молниотводов в виде молниеприемной сетки, троса или стержня. В общем случае молниотвод состоит из следующих элементов: молниеприемника, токоотводов и заземлителя.

Помимо вышеупомянутых традиционных решений (приведенных как в международном стандарте МЭК 62305.4, так и в российских нормативных документах РД 34.21.122-87 и СО 153–343.21.122-2003) с середины 2000-х годов получила распространение молниезащита с системой ранней стримерной эмиссии, также именуемая активной молниезащитой. Применение данной системы нормируется несколькими стандартами, в первую очередь французским NFC 17-102.

Отличие активной молниезащиты от традиционной заключается в наличии активного молниеприемника.

Основными элементами данного устройства являются (рисунок): 1) наконечник; 2) корпус, из нержавеющей стали; 3) блок, формирующий импульс; 4) крепежный винт; 5) резьбовое соединение с мачтой; 6) опорная мачта.



Устройство активного молниеприемника

Принцип действия активного молниеприемника основан на генерации высоковольтных импульсов на его конце с помощью встроенного электронного устройства.

При приближении грозового фронта возрастает напряженность поля поверхности земли, что приводит к наведению на антеннах молниеотвода напряжения, в результате чего происходит зарядка конденсаторов. При достижении напряжения на конденсаторах (12-14 кВ) происходит пробой разрядников и формирование короткого импульса величиной более 200 кВ. Полярность импульса противоположна полярности грозового фронта. Импульс инициирует направленный в сторону молнии стример, который создает проводящий канал для разряда молнии в землю. Этот процесс повышает действующую высоту молниеотвода, не зависящую от полярности грозового разряда. Когда нисходящий лидер разряда молнии приближается к поверхности земли, любая проводящая поверхность может создавать встречный восходящий стример. Время инициирования восходящего стримера у активного молниеприемника значительно меньше по сравнению с традиционными системами молниезащиты, это позволяет значительно увеличить зону защиты. Кроме того, данный способ молниезащиты характеризуется автономностью. Во время грозы напряженность электрического поля в воздухе возрастает до 10-20 кВ/м. Как только величина напряженности превышает значение, соответствующее риску образования молнии, молниеприемник

активируется, «чувствуя» приближение грозы. Заряжаясь от внешнего электрического поля, он получает энергию, достаточную для излучения высоковольтных импульсов, создающих восходящий лидер. Таким образом, активный молниеприемник не требует дополнительных источников питания.

Молниеприемники с активной головкой обладают рядом бесспорных достоинств и преимуществ (по сравнению с пассивными молниеотводами): более высокой надежностью; значительным уменьшением расхода материалов на сооружение молниезащиты; возможностью установки на доме после завершения его строительства; возможностью удаления молниеотвода от защищаемого дома и уменьшения наведенного потенциала и шагового напряжения; меньшее вмешательство в эстетический облик объекта. Последнее преимущество особенно актуально при использовании АМЗ в области гражданского строительства (в частности, на коттеджах), где в наш век дизайна владелец недвижимости предъявляет самые высокие требования к внешнему виду здания. Преимущество объясняется просто: меньшее число молниеприемников и токоотводов – меньшее нарушение эстетики объекта. Экономический эффект: применение АМЗ позволяет получить значительную экономию, так как при меньшем числе молниеприемников требуется меньшее число токоотводов. Таким образом, несмотря на довольно высокую стоимость самих активных молниеприемников, за счет экономии на материалах токоотводов достигается экономия на системе молниезащиты в целом. Сюда же можно отнести и растущую простоту монтажа.

Как и всякое устройство, активный молниеприемник обладает также некоторыми недостатками, связанными не столько с конструктивными особенностями, а с условиями применения: малый опыт применения; отсутствие российского государственного стандарта; отсутствие организации, обслуживающей подобные молниеотводы; отсутствие данных о надежности и сроке службы электронной головки; высокая стоимость устройства.

Ярким примером использования активной молниезащиты является применение активного молниеприемника производства компании «ERICO» (США) для защиты выставочного комплекса «Белэкспо» в городе Минске. В газетах конца 1980-х про выставочный комплекс писали: «Внешне сооружение очень красиво. Оно напоминает распутившийся цветок с чуть удлинненными и загнутыми кверху лепестками, который как бы накрывает собой горловину огромной хрустальной вазы». Трудно даже предположить, в какие астрономические средства обошлось бы заказчику строительство на обширной и сложной кровле здания «Белэкспо» классической молниеприемной сетки. Несомненно, что при таком проектном решении пострадал бы прежде всего архитектурный облик самого здания «Белэкспо», так как, скорее всего, квадратные ячейки

молниеприемной сетки из оцинкованной проволоки скрадывали бы неповторимые очертания оригинальной «лепестковой» формы его крыши.

Таким образом, эффективность применения традиционных способов молниезащиты доказана временем и статистическими данными, но наряду с традиционными способами молниезащиты в настоящее время широко начинают применяться и активные молниеприемники. Активная молниезащита наиболее экономически целесообразна, по сравнению с классической молниезащитой, на зданиях с большой площадью кровли и с кровлей сложной конфигурации. При установке активного молниеприемника на архитектурно значимые здания городской застройки не происходят негативные изменения их архитектурного облика. Использование ионизированного канала увеличивает эффективную высоту молниеприемника, что позволяет многократно расширить его площадь защиты.

### **Устройства защиты от импульсных перенапряжений как средство повышения пожарной безопасности зданий и сооружений**

*А.Е. Калабин, Т.Х. Мансуров, Уральский институт ГПС МЧС России*

По данным исследований, в год на планете происходит 16 миллионов гроз, на каждый день приходится около 44 тысяч гроз. Именно поэтому установка системы молниезащиты, сегодня является обязательной для обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений. Но не всегда установка одной лишь молниезащиты способна обеспечить пожарную безопасность объекта. Рассмотрим подробнее сложный физический процесс, называемый – молния.

Молния – гигантский электрический искровой разряд в атмосфере, происходящий во время грозы, проявляющийся яркой вспышкой света и громом. Ток в разряде молнии достигает 100 тысяч ампер, напряжение — миллионов вольт. Молния – одно из самых опасных природных явлений, с которыми повсеместно сталкивается человек. Тяжесть последствий удара молнии напрямую связана, во-первых, с угрозой разрушения и человеческими жертвами, во-вторых, окружающая человека среда, по мере насыщения чувствительным современным электронным оборудованием, стала чрезвычайно уязвимой к воздействию атмосферных и коммутационных перенапряжений. Именно поэтому не прекращаются разработки новых систем молниезащиты с целью повышения их эффективности.

Молниезащита – комплекс мероприятий и средств,

обеспечивающих безопасность людей, сохранность зданий и сооружений, оборудования и материалов от прямых ударов молнии, электромагнитной и электростатической индукции, а также от заноса высоких потенциалов через металлические конструкции и коммуникации.

В данный комплекс мероприятий входят:

- уравнивание потенциалов – система, объединяющая все токопроводящие элементы дома, сооружения, оборудования с заземлением;

- защита от импульсных перенапряжений – использование устройств для предотвращения воздействия кратковременного высоковольтного импульса на объект.

С развитием науки, а также применением микропроцессорной техники в целом ряде производств, система уравнивания потенциалов потеряла свою актуальность, что потребовало разработку новых систем защиты от молний и их проявлений.

Сущность системы уравнивания потенциалов сводилась к тому, чтобы оборудование, предметы и аппараты имели тот же потенциал, что и человек. К сожалению, микропроцессорная техника очень чувствительна даже к малейшей разнице потенциалов между элементами оборудования, что может послужить выходом ее из строя. До недавнего времени для борьбы с импульсными перенапряжениями и вторичными проявлениями ударов молний применяли четыре основных типа устройств:

- **разрядник** – ограничитель перенапряжения из двух токопроводящих пластин с калиброванным зазором. При существенном повышении напряжения между пластинами возникает дуговой разряд, обеспечивающий сброс высоковольтного импульса на землю;

- **варистор** – керамический элемент, у которого резко падает сопротивление при превышении определенного напряжения. Напряжение срабатывания 470 - 560 В (для сети 220/380 В 50 Гц). Время срабатывания – менее 25 нс. Максимальный импульсный ток – от 2 до 40 кА при длительности импульса 8/20 мкс;

- **разделительный трансформатор** – эффективный ограничитель перенапряжения. Трансформатор с отдельными обмотками и равными входным и выходным напряжениями. Он просто не способен передать столь короткий высоковольтный импульс во вторичную обмотку и благодаря этому свойству является в некоторой степени идеальной защитой от импульсного перенапряжения. Однако при прямом попадании молнии в электросеть может нарушиться целостность изоляции первичной обмотки, и трансформатор выходит из строя;

- **защитный диод** – защита от перенапряжения для аппаратуры связи. Обладает высокой скоростью срабатывания (менее 1 нс) и разрядным током 1 кА при токовом импульсе 8/20 мкс.

Каждое из вышеперечисленных устройств защиты от импульсных перенапряжений имеет свои достоинства и недостатки и это заставляло проектировщиков делать выбор в пользу того или иного устройства исходя из особенности его применения, но не обеспечивая полностью защиту оборудования от импульсных перенапряжений.

На данный момент одними из совершенных устройств, необходимых и применяемых для защиты от импульсных перенапряжений, являются устройства, производимые как отечественными, так и зарубежными фирмами с элементной базой разрядников различных типов или варисторов. Принцип действия ограничителя (УЗИП) основан на способности материала варистора при многократном увеличении напряжения пропускать электрический ток. Материал варистора утрачивает свои свойства после нескольких разрядов. В большинстве серий УЗИП имеется возможность визуально проверить работоспособность варистора в индикаторном окне. В конструкцию ограничителя зачастую включен предохранитель для защиты от сверхтоков. Зачастую, для увеличения степени защиты объекта применяют несколько УЗИП, присоединенных к одной цепи.

Применение устройств защиты от импульсных перенапряжений является приоритетным для обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений, так как позволяет значительно снизить вероятность пожара при прямом или косвенном воздействии токов молнии.

### **Применение устройств защитного отключения как средство повышения пожарной безопасности объекта**

*А.В. Вдовин, А.Н. Иванов, Уральский институт ГПС МЧС России*

Если верить статистике [1–4], то причиной около 24% всех происходящих пожаров является “нарушение устройства и эксплуатации электрооборудования”. Когда-то, защитным устройством электрической сети были плавкие предохранители (вставки), в которых при токе, превышающем допустимое значение, расплавлялся плавкий элемент плавкой вставки и размыкается электрическая цепь. Следующим шагом для более надежной защиты электрической сети от токов перегрузки и короткого замыкания стали применяться автоматические воздушные выключатели – “автоматы”.

Во многих случаях за общей фразой “замыкание электропроводки” зачастую кроются утечки электрического тока, которые возникают вследствие старения либо повреждения изоляции. При этом сила тока

утечки может достигать 500 мА, ни тепловой, ни электромагнитный расцепитель автоматического воздушного выключателя на ток такой силы попросту не реагируют – хотя бы по той причине, что они для этого и не предназначены. Опытным путем установлено, что при протекании тока утечки именно такой силы (500 мА), в течение максимум получаса через влажные опилки происходит их самопроизвольное воспламенение, и относится это не только к опилкам, но и вообще к любой пыли.

Эффективным средством защиты электрических сетей от предотвращения возгораний и пожаров, вызванных токами утечки и замыкания на землю, является применение устройства защитного отключения (УЗО). Эта функция не свойственна обычным автоматическим выключателям, реагирующим лишь на перегрузку или короткое замыкание.

УЗО предназначено для обеспечения электро- и пожарной безопасности в бытовых и промышленных электроустановках. Из всех известных средств защиты от электрического тока УЗО является единственным устройством, обеспечивающим защиту человека от поражения током, даже в случае прямого прикосновения к токоведущим частям. УЗО предотвращает возгорания и пожары, возникающие вследствие длительного протекания токов утечки и развивающихся из них токов короткого замыкания. УЗО производит отключение потребителей электрической энергии при возникновении в них токов утечки, величина которых значительно меньше токов короткого замыкания. Поэтому УЗО предупреждают нагрев проводников, обеспечивая также пожарную безопасность. Электрическая безопасность техническими средствами может обеспечиваться тремя способами: уменьшением напряжения прикосновения; уменьшением тока, который может поразить человека; уменьшением времени воздействия напряжения и тока, поражающих человека.

Принцип действия УЗО. Устройство защитного отключения представляет быстродействующий выключатель, автоматически отключающий контролируемую электроустановку от сети при возникновении в ней тока утечки на землю (рис. 1).

Ток утечки может быть вызван прямым прикосновением человека к токоведущим частям в результате повреждения или разрушения изоляции. Срабатывание УЗО происходит за счет использования энергии тока утечки  $I_{\text{ут}}$ , вызывающего срабатывание магнитоэлектрической защелки и пружинного расцепителя.

До тех пор, пока ток утечки отсутствует, т.е. нет пробоя или повреждения изоляции электроприемника или нет прямого прикосновения человека к токоведущим частям, токи в прямом  $I_1$  и обратном  $I_2$  проводниках нагрузки 3 равны и наводят в магнитном сердечнике 4 трансформатора тока УЗО равные, но встречно направленные магнитные

потоки  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , в результате чего ток во вторичной обмотке 5 равен нулю и не вызывает срабатывания чувствительного элемента – магнитоэлектрической защелки 6, которая также представлена на рисунке. При возникновении тока утечки, например прикосновения человека к фазному проводнику, баланс токов и магнитных потоков нарушается, во вторичной обмотке появляется ток небаланса  $I_{\Delta}$ , который вызывает срабатывание защелки 6, воздействующей, в свою очередь, на механизм расцепителя 7 и контактную систему 8. Электромеханическая система УЗО рассчитывается на срабатывание при определенных значениях – «уставка» тока утечки. Наиболее широко применяются УЗО с уставками 10, 30 и 100 мА [5].

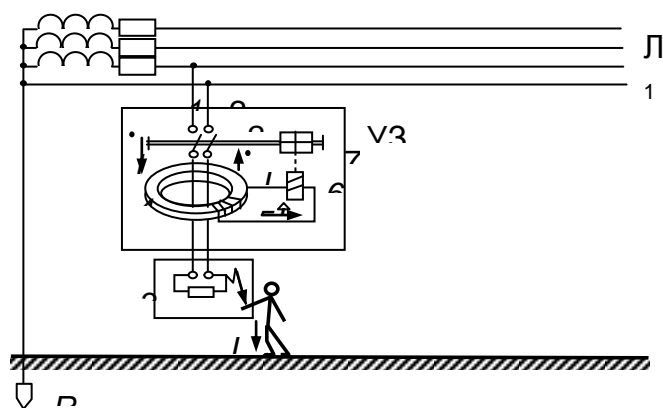


Рис. 1. Схема электроустановки с УЗО:

1, 2 – прямой и обратный проводники; 3 – нагрузка; 4 – магнитный сердечник трансформатора; 5 – вторичная обмотка; 6 – магнитоэлектрическая защелка; 7 – механизм расцепителя; 8 – контактная система; Л<sub>1</sub>, Л<sub>2</sub>, Л<sub>3</sub> – линейные проводники; N – рабочий и защитный нейтральный (нулевой) проводник

В России применение УЗО стало обязательным с принятием 7-го издания Правил устройства электроустановок (ПУЭ), утвержденного приказом Министерства энергетики Российской Федерации от 08.07.02 № 204, введенного в действие с 01.01.03г.

Конструкция УЗО должна обеспечивать его пожарную безопасность, как в нормальном режиме работы, так и при возникновении возможных неисправностей и нарушений правил эксплуатации. При оценке УЗО на пожарную безопасность и возможность применения должны быть определены его показатели. Номенклатура показателей пожарной опасности и возможности применения определены НПБ 243-97 «Устройства защитного отключения. Требования пожарной безопасности. Методы испытаний»

Таким образом, конструкция УЗО обеспечивает быстрое отключение защищаемой электроустановки от сети при протекании тока через тело человека и предотвращает возгорания и пожары, возникающие вследствие длительного протекания токов утечки и развивающихся из них токов короткого замыкания. Если ток утечки на землю происходит в

результате разрушения изоляции, то УЗО можно рассматривать как устройство пожарной безопасности.

#### **Литература**

1. Пожары и пожарная безопасность в 2007 году: статистический сборник; под общей редакцией Н.П. Копылова. – М.: ВНИИПО, 2008, – 137 с.: ил. 40.
2. Пожары и пожарная безопасность в 2008 году: статистический сборник; под общей редакцией Н.П. Копылова. – М.: ВНИИПО, 2008, – 137 с.: ил. 40.
3. Пожары и пожарная безопасность в 2009 году: статистический сборник; под общей редакцией Н.П. Копылова. – М.: ВНИИПО, 2010, – 135 с.: ил. 40.
4. Пожары и пожарная безопасность в 2010 году: статистический сборник. под общей редакцией В.И. Климкина. – М.: ВНИИПО, 2011, – 140 с.: ил. 40.
5. Черкасов В.Н., Костарев Н.П. Пожарная безопасность электроустановок: учебник. – М.: Академия ГПС МЧС РФ, 2002. – 130-138 с.

#### **Разработка процесса энергосберегающей и экологически безопасной комплексной утилизации медьсодержащих растворов**

*Л.А. Брусницына, Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина;  
Б.В. Буданов Уральский институт ГПС МЧС России*

Экологический кризис стал угрожающим в преддверии перехода человечества в третье тысячелетие. Глобальное влияние деятельности человека на все экологические компоненты началось примерно 300 лет назад и в настоящий момент привело к отдельным необратимым процессам и непредвиденным явлениям в окружающей среде, оказав негативное влияние на качество жизни человека.

Стратегия утилизации отходов основана на следующих принципах:

- экологически опасные отходы должны быть переведены в безопасное состояние в кратчайшие сроки. При этом от технологии переработки нельзя требовать в обязательном порядке экономической или технологической эффективности. Основным критерий выбора решения – наименее затратный перевод материала в безопасное состояние;
- отраслям народного хозяйства должно быть выгодно максимально использовать собственные отходы. Этому должны способствовать экономические и правовые стимулы – крупные штрафы за использование территорий для размещения полигонов собственных техногенных отходов;
- при переработке отходов недопустимы потери компонентов, ресурсы которых в природе малы или уже исчезли. Способы утилизации должны отвечать требованиям и принципам создания безотходных

производств: малоотходные или безотходные технологии должны быть построены таким образом, чтобы «сырье» (отход) и энергия использовались наиболее рационально и комплексно в цикле: сырьевые ресурсы → производство → потребление → вторичные ресурсы → производство.

Изготовление радиоэлектронной аппаратуры связано с использованием растворов, содержащих медь(II), для гальванического и химического осаждения меди в виде металлического покрытия. Большой проблемой является удаление меди из промывных и сточных вод.

Целью исследований являлась разработка новых процессов полного извлечения меди(II) из технологических растворов и доведения содержания меди в сточных водах до предельно допустимых концентраций (ПДК).

Объектом исследования являлись растворы, содержащие 2 – 5 г/л меди. Удаление меди из растворов проводилось двумя путями. Первый способ – это выделение меди в виде нерастворимых соединений путем введения в раствор различных осадителей. Наилучшие результаты были получены при использовании в качестве осадителей органических серосодержащих соединений. Более полное выделение меди наблюдалось при введении в раствор тиомочевины.

Полнота извлечения меди из растворов определяется концентрацией сульфидизатора и pH раствора. На основании расчетных и экспериментальных данных установлено, что при значениях pH, равных 11–12, после осаждения концентрация меди (II) в растворе не превышает ПДК.

Осажденный сульфид меди представляет собой плотный коричневый осадок, который легко отфильтровывается и в дальнейшем утилизируется как твердые отходы производства.

Другой способ осаждения предполагает выделение меди(II) из растворов в виде металла. Для этого в исследуемые растворы вводились различные восстановители: гипофосфит натрия, гидроксилламин, гидразин. Восстановление меди проводилось при температуре 293 – 313 К и при значениях pH 8 – 10. Наиболее активно восстановление меди протекает при использовании в качестве восстановителя сернокислого или солянокислого гидразина в зависимости от состава утилизируемого раствора.

Хорошим восстановителем является щелочной раствор формальдегида. В этом случае осаждение металлической меди проводилось при температуре 293 – 298 К и при значениях pH 11 – 12.

При введении в раствор малых количеств мелкодисперсной металлической меди полнота извлечения меди составляет 99,8%.

Следует отметить, что второй способ утилизации меди(II) является более предпочтительным, т.к. медь (II) восстанавливается до

металлической меди, а это позволяет использовать ее после предварительной очистки для различных технических целей.

### **Литература**

1. Русаков Н.В. Современные проблемы отходов производства и потребления : сборник материалов Международной научно-практической конференции «Почва, отходы производства и потребления: проблемы охраны и контроля». 26–27 мая 1999 г. – Пенза. – С.3-5.
2. Юсфин Ю.С. Международный конгресс «Экологические проблемы больших городов: инженерные решения» // «Экология и промышленность России». – 1996. – №8, г.с.33-36.

## **Современные разработки в области теплообменного оборудования промышленных предприятий с повышенной пожарной опасностью**

*Контобойцев Е.А., Халиков В.Д., Иванов Ю.С.,  
Уральский институт ГПС МЧС России*

В настоящее время на объектах с повышенной пожарной опасностью одним из направлений увеличения объема производства и снижения пожарной опасности является эффективное использование мощности технологического оборудования. Процессы нагревания и охлаждения горючих веществ необходимы во многих технологических операциях. Нагревание необходимо для ускорения большого количества химических реакций, осуществления процессов перегонки, сушки, выпаривания и т.д. Охлаждение используется для конденсации веществ, разделения веществ с низкой температурой кипения [2]. Наиболее распространённым технологическим оборудованием является теплообменные аппараты, такие как кожухотрубные теплообменники (состоящие из металлического кожуха, двух трубных решеток и двух крышек). Однако на смену им пришли наиболее усовершенствованные аппараты, пластинчатые теплообменники. Эти аппараты позволяют снизить уровень пожарной опасности предприятий, так как их конструкция даже при аварии исключает смешивание продукта с теплоносителем.

Устройство пластинчатых теплообменников представлено на рис. 1.

### *Принцип работы пластинчатого теплообменника*

Передача тепла в пластинчатых теплообменниках осуществляется от горячего теплоносителя к холодной (нагреваемой) среде через стальные гофрированные пластины, которые установлены в раму и стянуты в пакет. В процессе теплообмена жидкости движутся навстречу друг другу (в

противотоке). В местах их возможного перетекания находится либо стальная пластина, либо двойное резиновое уплотнение, что практически исключает смешение жидкостей в теплообменнике.

Все пластины в пакете пластинчатого теплообменника одинаковы, только развернуты одна за другой на  $180^\circ$ , поэтому при стягивании пакета пластин образуются каналы, по которым и протекают жидкости, участвующие в теплообмене. Такая установка пластин обеспечивает чередование горячих и холодных каналов [4].

Вид гофрирования пластин и их количество, устанавливаемое в раму, зависят от эксплуатационных требований к пластинчатому теплообменнику. Пожарная опасность теплообменников характеризуется [1]:

- наличием ЛВЖ и ГЖ с различными температурами воспламенения и рабочими температурами;
- возможностью образования взрывоопасных смесей вне теплообменников при авариях (старение прокладок, коррозия, температурные напряжения);
- наличием источников зажигания (сварочные работы, искры от инструмента, тепловое проявление электрической энергии, а также самовозгорание природных соединений серы).

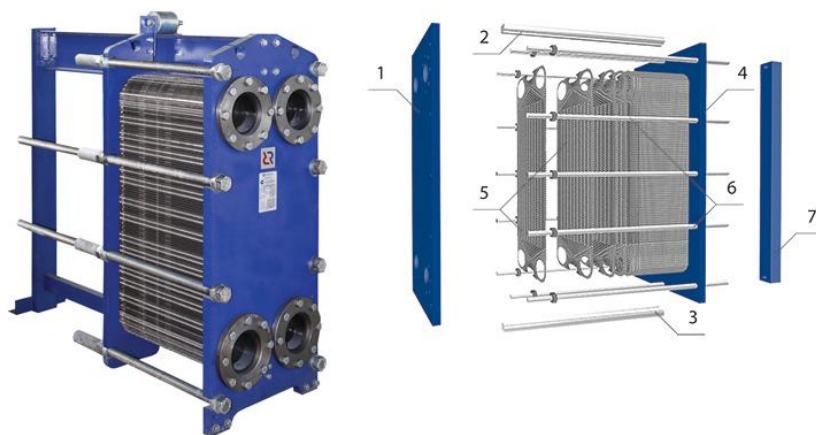


Рис.1. Внешний вид пластинчатого теплообменника:

- 1 – неподвижная плита с присоединительными патрубками; 2 – верхняя направляющая; 3 – нижняя направляющая; 4 – задняя прижимная плита; 5 – теплообменные пластины с уплотнительными прокладками; 6 – комплект резьбовых шпилек; 7 – задняя стойка

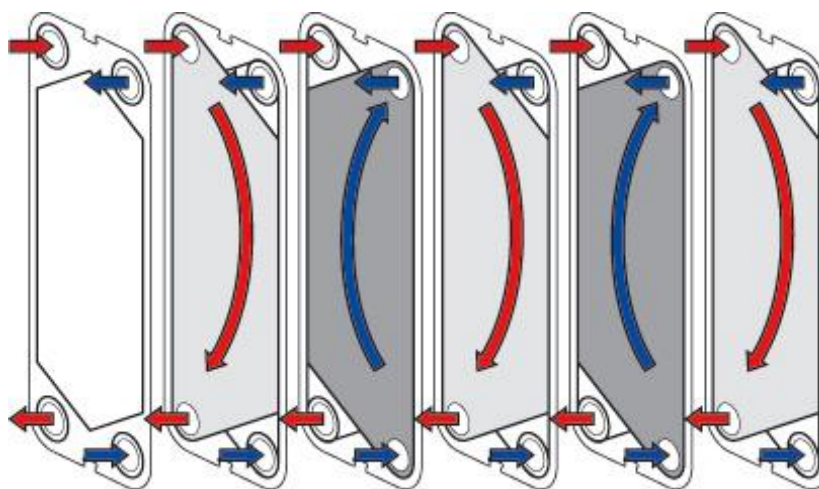


Рис.2. Принцип действия в пластинчатых теплообменниках

Вышеперечисленные характеристики пожарной опасности теплообменных аппаратов позволяют понять, что пластинчатые теплообменники с точки зрения пожарной безопасности на сегодняшний момент более актуальны. А именно, как и кожухотрубные теплообменники, пластинчатые содержат большое количество ЛВЖ и ГЖ, но, в отличие от кожухотрубных, практически исключают смешивание веществ при авариях. Так как даже при разрушении пластины с теплоносителем пластина с продуктом остается целой. Также данные пластины разделяются уплотнительными прокладками, которые способствуют отделению поверхностей нагреваемого продукта от нагревателя.

Преимущества разборных пластинчатых теплообменников [4]:

- 1) экономичность и простота обслуживания;
- 2) низкая загрязняемость поверхности теплообмена вследствие высокой турбулентности потока жидкости;
- 3) срок работы теплообменных пластин 20—25 лет;
- 4) при увеличении площади поверхности теплообмена пластины можно увеличить или уменьшить извлечением или добавлением пластин;
- 5) устойчивость к вибрациям;
- 6) меньшие последствия при гидроударах. Самое негативное последствие гидравлического удара для разборного пластинчатого теплообменника — выход из строя прокладок.

Применение нового современного оборудования – пластинчатых теплообменников, позволяет повысить уровень пожарной безопасности на предприятиях, а также, наряду с экономией первоначальных затрат на 20–30%, перейти предприятию на более перспективные режимы работы [3]. Происходит повышение КПД и более эффективного использования источников энергии.

### Литература

1. ГОСТ 12.2.003-91 «Оборудование производственное. Технические требования безопасности». — М.: Госстандарт России, 1991.
2. В.С. Клубань, А.П.Петров, В.С. Рябиков. Пожарная безопасность предприятий промышленности и агропромышленного комплекса. — М.: Стройиздат, 1987.
3. [www.teploobmennik.ru](http://www.teploobmennik.ru)
4. [www.ridan.ru](http://www.ridan.ru)

### Современные технологии тушения пожаров

*М.Г. Контобойцева, А.А. Андрианов, Уральский институт ГПС МЧС России*

Пожар сопровождается уничтожением материальных ценностей, создает угрозу жизни и здоровью людей, окружающей среды. Проблема пожаров становится глобальной по своим масштабам, затрагивает не только национальные, но и международные интересы.

Последствия пожаров определяются совокупностью видов убытков от них. Прямые убытки — это потери, связанные с уничтожением или повреждением огнем, водой, дымом и, вследствие высокой температуры, основных фондов и другого имущества предприятия, учреждения и организации, а также граждан, если эти потери имеют прямую причинную связь с пожаром.

Побочные убытки — это потери, связанные с ликвидацией пожара, а также обусловленные простоем производства, перерывом в работе, сменой графика движения транспортных средств и другой утраченной вследствие пожара выгодой.

Социальные убытки — это потери из-за неиспользованных возможностей вследствие исключения трудовых ресурсов из производственной деятельности и расходов на проведение мероприятий ввиду гибели и травматизма людей на пожарах.

Экологические убытки — это потери, связанные с загрязнением продуктами горения и производства, а также средствами тушения пожаров атмосферы, воды, грунта, живых организмов и растительности.

Россия по праву считается лесной державой, на нее приходится 1/5 часть всех лесов мира, 1/2 часть всех хвойных лесов. Леса занимают ~50% всей площади страны и составляют 1,2 млрд га.

За последние годы наибольшие убытки национальной экономике нашей страны принесли лесные пожары. Согласно данным статистики, в 2011 г. на территории Российской Федерации произошло 21,1 тыс. лесных пожаров, из них 57,6% — по вине граждан, по причине сельскохозяйственных палов — 6,5%, по причине грозových разрядов —

15,8% (от общего числа зарегистрированных случаев лесных пожаров). Площадь земель лесного фонда и земель иных категорий, на которых расположены леса, пройденная пожарами, уменьшилась на 799,1 тыс. га, в том числе по лесным землям – на 618,5 тыс. га, нелесным – на 180,6 тыс. га по сравнению с 2010 г.

В связи с этим применение эффективных технологий тушения пожаров, в особенности лесных, остается чрезвычайно актуальной проблемой в современных условиях.

Во всем мире ведется разработка новых технологий борьбы с огнем в целях сокращения затрат и уменьшения времени тушения пожаров. Мы проанализировали ряд технологий, как традиционных, так и нетрадиционных, и выделили ряд направлений развития данной области.

Одним из перспективных направлений в области совершенствования технологий пожаротушения является применение современных высокоэффективных огнетушащих составов и средств их подачи в очаг пожара. В качестве новых огнетушащих составов предполагается применение фторсодержащих пленкообразующих пенообразователей, а также воды, подаваемой компактными или распыленными струями. В целях повышения огнетушащей эффективности воды применение получают смачиватели, представляющие собой раствор пенообразователя с его рабочей концентрацией в воде 1–1,5%.

Следующим перспективным направлением в данной области является использование полимерных добавок к воде, позволяющих получать гелевые структуры полимера с водой. Применение полимерных добавок имеет ряд преимуществ. Во-первых, снижаются расходы воды благодаря гелеобразованию; во-вторых, отсутствует необходимость их последующего удаления, поскольку они обладают замечательным свойством разлагаться под воздействием солнечных лучей, не представляя этим никакой опасности для экологической среды.

Одной из современных систем пожаротушения являются системы газового пожаротушения. К преимуществам этого вида пожаротушения можно отнести эффективность, способность газов в считанные мгновения уничтожить возгорание, распространяющееся пламя и даже серьезный пожар. Вторым фактором выбора газа в качестве пожаротушащего средства является его безопасность.

На наш взгляд, одной из нетрадиционных, но достаточно эффективной технологией тушения пожаров, в частности лесных, является использование электрического поля. Открытие эффекта электрического тушения пламени принадлежит академику Дудышеву В.Д., которое он сделал еще в 1988 г. На основе этого открытия была изобретена технология электрического тушения пламени.

Принцип, лежащий в основе этой технологии, направлен на устранение очагов цепных реакций деления углеводородных радикалов

горящих веществ в пламени и весьма прост в реализации.

Для реализации этой технологии необходимы передвижное средство, содержащее всего два электрода (один из которых выдвижной), и относительно маломощный импульсный источник высокого напряжения постоянного тока, присоединенный к этим электродам. Физическая суть данной электротехнологии состоит в том, что электрическое поле определенных параметров активно угнетает и тушит пламя, причем электроны цепных реакций горения веществ скачкообразно устраняются из пламени специальными игольчатыми устройствами, на которые подают циклически импульсами высоковольтный положительный электрический потенциал определенных параметров – в зависимости от параметров горения пламени, после чего пламя тухнет скачком за доли миллисекунды.

Иными словами, в основе дано технологии – использование электрического поля определенных параметров, которое практически мгновенно позволяет потушить любой пожар. Электрическое знакопостоянное поле при нужных параметрах энергично и эффективно “выдергивает” из пламени электрически заряженные частицы и тем самым подавляет очаги цепных реакций горения в пламени, что и приводит к его тушению.

Отличительной особенностью и большим преимуществом данной технологии является отсутствие воды и пены в качестве пожаротушающих средств. Имея очень высокую скорость тушения пламени, буквально миллисекунды, изобретение Дудышева В.Д. идеально подходит для тушения лесных пожаров, горящих торфяников, пожаров на буровых установках, а также мест, где вода и пена могут оказать почти такое же губительное воздействие, как и огонь. Например, в публичных библиотеках, хранилищах электронных носителей информации и пр.

Нетрадиционные технологии тушения пожаров разрабатываются и за рубежом. Например, инженеры из американского военного агентства DARPA разработали способ тушить пожар с помощью звука или электричества. Но в основе электрического метода лежит воздействие переменного магнитного поля. Пожар можно потушить с помощью специального электрода, покрытого защитной стеклянной оболочкой. Воздействие поля на плазму огня приводит к образованию мощных потоков частиц – ионных джетов. Потоки фактически сдували пламя и таким образом тушили огонь. Но этот метод, как показали эксперименты, работает при тушении небольших очагов и плохо масштабируется.

Другой способ тушения заключается в облучении пламени звуковыми волнами. В экспериментальной установке сосуд с горящим гептаном помещают между двумя динамиками. Акустическое воздействие динамиков способно потушить огонь за несколько секунд. По словам инженеров, такое действие звука объясняется двумя причинами. Во-первых, акустические волны истончают зону сгорания, а во-вторых,

воздействуют на поверхность горючего, увеличивая скорость его испарения. Это не приводит к увеличению скорости сгорания, а только понижает температуру огня. В результате пламя гаснет.

На наш взгляд, только успешное развитие работ по созданию новых высокоэффективных технических средств пожаротушения на базе высоких технологий и их внедрение позволят перевооружить подразделения пожарной охраны МЧС России новейшей техникой, уменьшить риск возникновения и развития крупных пожаров.

#### **Литература**

1. Дудышев В.Д. Новая электрическая технология бесконтактного тушения пламени и предотвращения его возгорания. Журнал «Новые технологии» — 2002. — №9..
2. Шариков А.В. Современные технологии тушения пожаров. Журнал «Безопасность труда в промышленности». —. 2011 — №8. [www.safety.ru](http://www.safety.ru)

### **Использование электричества в медицине**

*Т.Х. Мансуров, Д.В. Тюгаев, Уральский институт ГПС МЧС России*

С давних времен человек пытался понять явления природы. Много гениальных гипотез, объясняющих происходящее вокруг него, появилось в разное время и в разных странах. Мысли римских и греческих ученых и философов, которые жили еще до нашей эры — Архимеда, Евклида, Лукреция, Аристотеля, Демокрита — и сейчас помогают развитию научных исследований.

Изучение темы «Электричество и человек» дает первые сведения об электричестве и магнетизме. Идут они из старинного торгового города на Средиземном море — Милета, автор их — милетский философ Фалес (конец VII — начало VI вв. до н.э.). Он описал электрические явления на основе свойства нагретого янтаря притягивать кусочки ткани, нити, бумагу. Описал и магнитные явления. Фалеса Милетского по праву считают основателем науки об электричестве. Ученики его накапливали по крупицам сведения об электризации, которая в той или иной степени связывалась с живым организмом, с человеком. Так, в античные времена были известны электрические свойства некоторых видов рыб. И уже тогда они использовались в качестве лечебного средства. За 30 лет до н.э. Диаскорт электрическими ударами от соприкосновения с электрическим угрем лечил подагру и хроническую головную боль. В русских летописях XIV в. имеется описание, из которого видно, что это удивительное исцеляющее средство было известно и русским.

После первых наблюдений электрических и магнитных явлений Фалесом Милетским, в дальнейшем также периодически возникал интерес к ним, определяемый задачами врачевания.

Следует отметить, что электрические свойства некоторых рыб, известные еще в далекие времена, до сих пор являются нераскрытой тайной природы. Например, в 1960 г. на выставке, организованной Английским научным королевским обществом в честь трехсотлетия со дня его основания, среди загадок природы, которые человеку предстоит раскрыть, демонстрировался обычный стеклянный аквариум с находящейся в нем рыбой — электрическим скатом. К аквариуму через металлические электроды был подключен вольтметр. Когда рыба была в покое, стрелка вольтметра стояла на нуле. При движении рыбы вольтметр показывал напряжение, достигавшее при активных движениях 400 В. Надпись гласила: «Природу этого электрического явления, наблюдавшегося задолго до организации английского Научного королевского общества, человек до сих пор разгадать не может». Развитие биоэлектрофизики особенно мембралогии вселяет уверенность — разгадка возможна до конца века.

Интерес к использованию электричества в медицине возрастал. Руанская академия объявила конкурс на лучшую работу по теме: «Определить степень и условия, при которых можно рассчитывать на электричество в лечении болезней». Первая премия была присуждена Жану Полю Марату, так как применение электричества для лечения не обходилось без мистики и шарлатанства. Некий Месмер, используя модные научные теории об искрящих электрических машинах, начал утверждать, что им в 1771 г. найдено универсальное медицинское средство — «животный» магнетизм, действующий на больного, на расстоянии. Им были открыты специальные врачебные кабинеты, где находились электростатические машины достаточно высокого напряжения. Больной должен был касаться токоведущих частей машины, при этом он ощущал удар электрического тока. По-видимому, случаи положительного эффекта пребывания во «врачебных» кабинетах Месмера можно объяснить не только раздражающим действием электрического удара, но и действием озона, появляющегося в помещениях, где работали электростатические машины, и явлениями, о которых упоминалось раньше. Могло положительно влиять на некоторых больных и изменение содержания бактерий в воздухе под действием его ионизации. Озон — активный окислитель. Наличие его в воздухе сопровождается появлением азотно-кислородных соединений, которые изменяют бактерицидность среды и оказывают влияние на системы дыхания, включая и такой сложный орган, каким является кожа. Но об этом Месмер и не подозревал. После сопровождавших его процедуры неудач, о которых своевременно предупреждал в своей работе Марат, Месмер исчез из Франции.

В настоящее время постоянный электрический ток (и его модификация — прерывистый, импульсный ток) широко применяется в медицинской практике. Всем хорошо известны такие физиотерапевтические процедуры, как гальванизация, ионогальванизация, йонофорез. Сейчас же пойдет речь лишь о таком применении постоянного или импульсного тока, которое заменяет хирургическое вмешательство.

Еще в конце XIX века американский ученый Беер применил постоянный ток для электрокоагуляции (прижигания) опухолей мочевого пузыря. Результат этой операции остался неизвестным. Гальванизация до недавнего времени широко применялась для удаления родинок и волос (например, при поражении их лишаям).

Со временем постоянный ток все шире стал применяться в стоматологии. Представьте человека, который сидит в зубоврачебном кресле и спокойно читает газету. И в это же время... проходит его интенсивное лечение. Одной из модификаций постоянного тока, как мы уже говорили, является прерывистый (импульсный) ток. Сфера его применения в медицине значительно шире, чем тока постоянного. Особое значение имеет применение импульсного тока в кардиологии.

Уже более сотни лет назад люди пытались использовать электричество для восстановления сердечной деятельности. Самое страшное осложнение при распространенных сердечнососудистых заболеваниях — фибрилляция желудочков сердца.

Это осложнение для больного не так давно превращалось в непоправимую катастрофу. Врачи в этих случаях были беспомощны. Сейчас положение изменилось. Внезапно наступившая фибрилляция устраняется быстрым воздействием одиночного электрического импульса, посылаемого в сердечную мышцу. Это один из самых надежных способов прекратить фибрилляцию желудочков. Электрический разряд приводит сердце в состояние кратковременного шока, после которого мышечные волокна, «оправившись», начинают действовать более согласованно. Правда, в случае более поздней фибрилляции, когда миокард потерял свою работоспособность из-за гипоксии вследствие продолжительного отсутствия кровообращения, электрический импульс, посланный к сердцу, оказывается малоэффективным.

Широкое применение; получила электрическая стимуляция сердца для нормализации сердечного ритма при полной атриовентрикулярной блокаде. Его производят с помощью непрерывно посылаемых импульсов. С этой целью, используют миниатюрные стимуляторы, которые имплантируются под кожу пациента. Исходя из принципа дефибрилляции, тбилисский врач З. Чиладзе сконструировал весьма несложный в обращении маточный тонизатор — портативный аппарат весом 8 кг.

Любопытна история первого применения этого прибора. В 1961 году в один из родильных домов Тбилиси в тяжелом состоянии была доставлена

девятнадцатилетняя роженица. Чтобы остановить сильное внутреннее кровотечение, ей была немедленно произведена операция кесарева сечения. Однако состояние больной не только не улучшилось, но, напротив, осложнилось маточным кровотечением. В подобных случаях все акушеры мира, чтобы спасти женщину от неминуемой гибели, удаляли матку. Но больная была настолько обескровлена и измучена, что вряд ли перенесла бы еще одно оперативное вмешательство.

Дежурящий в тот день доцент З. Чиладзе попросил разрешения применить электротонизацию матки, совершив удар по ней током напряжением в тысячу вольт. Уже второй год он проводил опыты над животными и был полностью уверен в эффективности своего метода. Однако главный врач больницы не решался проводить эксперимент на человеке, опасаясь, что столь высокое напряжение убьет больную. Времени для убеждений не оставалось. Все решали секунды. И тогда Чиладзе решил испытать аппарат на себе.

Раздевшись, он в присутствии нескольких коллег приставил к животу электроды и пропустил ток напряжением в 2 тысячи вольт. Впоследствии целую главу своей докторской диссертации Чиладзе озаглавил так: «Ощущения при разряде высокого напряжения». Но в тот день ему было не до диссертации. Едва придя в себя, врач произвел электротонизацию роженицы. Спустя четверть часа, внутреннее кровотечение полностью прекратилось. Молодая женщина была не только спасена от смерти, отпала даже необходимость в радикальной операции. Так начал свою жизнь новый метод и новое устройство, зарегистрированное Государственным комитетом по делам изобретений и открытий авторским свидетельством.

При проведении электротонизации матки напряжение электрического разряда устанавливается в зависимости от комплекции и состояния роженицы - от тысячи (как это было в описанном случае) до четырех тысяч вольт с продолжительностью разряда в 0,01 секунды. Большая продолжительность электроудара опасна, так как может повлечь за собой фибрилляцию сердца. Ощущение, которое приходится испытать женщинам, конечно, не из приятных. Но, как правило, чем больше ослаблена роженица потерей крови, тем менее болезнен электроудар. Напротив, многие, после разряда даже чувствуют мгновенное прояснение сознания и облегчение. Это объясняется тем, что во время электротонизации, кроме энергичного сокращения матки, наблюдается также некоторое повышение артериального давления, вызванное сжатием сосудов брюшной полости. Кровь, застоявшаяся в расслабленной матке, изгоняется в общий кровоток, что благотворно сказывается на общем состоянии организма больной.

Разумеется, электротонизация сильным разрядом – крайняя мера. Ее приходится применять в тех случаях, когда роженица уже доставлена в

больницу в тяжелом состоянии. В настоящее время разработан профилактический метод – абсолютно безболезненный. Изучив причины атонических кровотечений, советские ученые А.И. Медведева, Б.И. Ласков и З. Чиладзе нашли способ предупреждения обильной кровопотери. Для этого на матку роженицы в определённый период родов воздействуют импульсным током (при напряжении от 6 до 15 вольт). Источник тока – обычная батарейка от карманного фонаря. В результате применения этого метода уже удалось предотвратить осложнения при родах у сотен женщин.

Также в наше время целебное электричество начинает применяться для лечения некоторых психоневрологических заболеваний. Таким образом, электричество становится подлинным оружием исцеления.

### **Основные физико-механические свойства твердых подстилающих поверхностей и их влияние на площадь разлива нефтепродуктов**

*В.Д. Халиков, А.П. Сурков, Уральский институт ГПС МЧС России*

Как нам известно, для того чтобы доставить нефтепродукт от места добычи к месту его использования, существует такой вид транспортировки жидкости, как магистральный трубопровод. Статистика за 2010–2012 гг. показывает, что при авариях нефтепровода в окружающую среду попадает большое количество нефтепродуктов, что наносит как экологический, так и экономический ущерб. Причиной большого загрязнения почв служит химический состав разлившейся жидкости, а также размеры площади загрязнения нефтепродуктами окружающей среды в результате аварии при утечке либо при разрушении нефтепровода. Следовательно, на площадь разлива непосредственно влияют свойства самих поверхностей. В качестве примера были взяты следующие поверхности: грунтовое покрытие, асфальтовое покрытие и песчаная поверхность. В качестве жидкости использовалась сырая нефть НПС «Конда» Ханты-Мансийского автономного округа.

Эксперимент был проведен для различных поверхностей: грунт, асфальт, песок.

*Грунт* – совокупность горных пород, которые располагаются в верхнем слое земной коры, что делает их подверженными процессу выветривания. Чаще всего в состав песка входит большой процент диоксида кремния. Основные свойства грунтовой поверхности:

– *Водонасыщение* — отношение природной влажности грунта к его полной влагоемкости, соответствующей полному заполнению пор грунта водой;

– Пористость — суммарный объем всех пустот в единице объема породы. Количественно выражается процентным отношением к объему грунта, чем больше количество пустот, тем меньше будет растекаемость. Так как при разливе нефть, попавшая на грунт, сначала заполняет пустоты;

– Влагоемкость полная — свойство, определяемое по влажности грунта при полном заполнении пор водой. Данное свойство оказывает влияние на количество впитываемой разлившейся жидкости. Т.е. чем насыщеннее грунт водой, тем меньше нефтепродукта впитается в него и соответственно площадь разлива будет больше.

Асфальт – это вязкий некристаллический материал, в основной своей массе состоящий из углеводов. По химическому составу асфальт - это не менее 80% углерода и около 15% водорода, остальные 5% включают кислород, серу, азот и некоторое количество различных металлов. Больше всего в природном асфальте (до 75%) содержится битумов, представляющих собой искусственный, остаточный продукт переработки нефти, который отличается твердой или вязкой консистенцией.

Основные свойства асфальтовой поверхности.

Проницаемость – способность данного материала пропускать через свои слои потоки жидкости. Пропускная способность пористых сред зависит от физико-химических свойств жидкостей и газов, а также геометрии пустотного пространства: размеров, извилистости и сообщаемости пор и трещин. Основной характеристикой пористой среды является пористость, определяемая как отношение объема пор к объему породы.

Песок – это или разновидность осадочных горных пород (естественный песок), или искусственно получаемая смесь. Чаще всего в состав песка входит большой процент диоксида кремния (почти чистый кварц), что делает песок универсальным материалом с множеством сфер применения в строительстве.

Основные свойства песчаной поверхности:

– Плотность — отношение разности максимального и естественного коэффициентов пористости к разности максимального и минимального коэффициентов пористости;

– Водопроницаемость — способность пород пропускать воду, нефть через имеющиеся в них поры и трещины.

Для определения влияния свойств твердых поверхностей были проделаны в лабораторных условиях опыты на определение площади разлива сырой нефти на грунте, асфальте и песке. В дальнейшем по полученным данным был определен коэффициент влияния свойств материала поверхности на растекание жидкости. Полученные данные представлены в таблице.

## Результаты эксперимента

№ опыта	Поверхность	$V_{ж}, м^3$	$S_{раст.}, м^2$	$\delta_{нов}, м$	d, м	$K_{ф}$ песка	$K_{ф}$ грунта	$K_{ф}$ бетон
I	Грунт	$0,5 \cdot 10^{-6}$	$0,17 \cdot 10^{-2}$	$1,25 \cdot 10^{-3}$	0,023	0,26	0,082	0,82
	Асфальт		$0,28 \cdot 10^{-2}$	$33,4 \cdot 10^{-5}$	0,07			
	Песок		$0,028 \cdot 10^{-2}$	$106,4 \cdot 10^{-5}$	0,024			
II	Грунт	$1 \cdot 10^{-6}$	$0,07 \cdot 10^{-2}$	$1,25 \cdot 10^{-3}$	0,032			
	Асфальт		$0,7 \cdot 10^{-2}$	$33,4 \cdot 10^{-5}$	0,1			
	Песок		$0,063 \cdot 10^{-2}$	$106,4 \cdot 10^{-5}$	0,035			
III	Грунт	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$0,11 \cdot 10^{-2}$	$1,25 \cdot 10^{-3}$	0,04			
	Асфальт		$1,1 \cdot 10^{-2}$	$33,4 \cdot 10^{-5}$	0,12			
	Песок		$0,11 \cdot 10^{-2}$	$106,4 \cdot 10^{-5}$	0,042			
IV	Грунт	$2 \cdot 10^{-6}$	$0,15 \cdot 10^{-2}$	$1,25 \cdot 10^{-3}$	0,045			
	Асфальт		$1,3 \cdot 10^{-2}$	$33,4 \cdot 10^{-5}$	0,14			
	Песок		$0,17 \cdot 10^{-2}$	$106,4 \cdot 10^{-5}$	0,05			

В ходе проведения опыта было выявлено, что наибольшее влияние на разлив оказывает песчаная и грунтовая поверхность. Это связано с тем, что при растекании жидкости часть ее впитывается в грунт либо песок. Также это зависит от влажности данных поверхностей. В отличие от асфальтового покрытия, где основное влияние на растекание жидкости оказывает неровность поверхности.

### Литература

1. <http://www.jurnal.org/articles/2010/>
2. <http://kozaostr.myyb.ru/viewtopic>

## Технологический процесс сушки веществ и материалов

*С.А. Кузьмин, Марков М.В., Иванова С.И., Кочнев С.В.,*  
Уральский институт ГПС МЧС России

**Сушка** — процесс принудительного удаления жидкости из твердых, жидких веществ или их смесей с помощью испарения. Чаще всего в качестве удаляемой жидкости выступает влага или летучие органические растворители.

В самом общем случае процесс сушки происходит следующим образом: нагретый газовый поток, отдавая тепло обрабатываемому материалу, вбирает в себя испаряемую им жидкость, удаляя ее из общей

массы вещества. Цель сушки, широко применяемой в производствах химико-лесного комплекса, сельском хозяйстве, пищевой, строительных материалов, кожевенной, легкой и других отраслях, – улучшение качества веществ и материалов, подготовка их к переработке, использованию, транспортированию и хранению. Данный процесс часто является последней технологической операцией, предшествующей выпуску готового продукта.

Естественную сушку на открытом воздухе из-за значительной продолжительности используют крайне редко и главным образом в районах с теплым климатом. В химических производствах применяют, как правило, искусственную сушку, проводимую в специальных сушильных установках, в состав которых входят: сушильный аппарат, или сушилка, где непосредственно протекает процесс; вспомогательное оборудование - теплообменные аппараты (калориферы), тягодутьевое устройство (вентилятор, воздуходувка) и система пылеочистки соответственно для нагревания сушильного агента, пропускания его через сушилку и отделения от высушенного продукта.

Сушка – это не только сложный процесс тепло- и массообмена, но также и сложнейший технологический процесс. Оптимальный режим сушки должен осуществляться при минимальном затрата тепла и энергии и заключаться в максимальном сохранении химико-технологических показателей качества сырья, используемого для сушки.

Формы связи влаги с материалом в значительной степени определяют механизм и скорость сушки: чем эта связь прочнее, тем труднее протекает процесс. При сушке связь влаги с материалом нарушается. Различают следующие формы связи (в порядке убывания ее энергии): химическую, физико-химическую, механическую. Наиболее полная классификация форм связи влаги с материалом дана П.А. Ребиндером и основана на энергии, необходимой для ее разрушения и удаления влаги из материала.

Химически связанная влага (гидратная, или кристаллизационная, влага комплексных соединений) соединена с материалом наиболее прочно и при сушке обычно удаляется частично или вообще не удаляется.

Физико-химическая связь объединяет адсорбционную и осмотическую влагу (например, в коллоидных и полимерных материалах). Адсорбционно связанная влага прочно удерживается силами межмолекулярного взаимодействия на поверхности пор материала в виде монослоя или нескольких слоев. Осмотически связанная влага находится внутри и между клеток материала и менее прочно удерживается осмотическими силами. Влага этих видов связи с трудом удаляется при сушке.

Механическая, или капиллярно связанная, влага подразделяется на влагу макрокапилляров (радиус более  $10^{-7}$  мм) и микрокапилляров (менее

$10^{-7}$  мм). Влага макрокапилляров наименее прочно связана с материалом и может быть удалена не только при сушке, но и механически.

Применительно к сушке влагу классифицируют в более широком смысле на свободную (легко удаляемую) и связанную (адсорбционную, осмотическую, микрокапилляров). Скорость испарения свободной влаги из материала равна скорости испарения воды со свободной поверхности жидкости. Связанная влага испаряется из материала с меньшей скоростью, чем с поверхности воды. Расчет сушилок необходимо проводить с учетом энергии связи влаги с материалом.

Суммарный расход теплоты на сушку:

$$Q = Q_{исп} + Q_{св},$$

где  $Q_{исп}$  – теплота парообразования, расходуемая на испарение свободной влаги;  $Q_{св}$  – теплота, расходуемая на преодоление связи влаги с материалом.

В процессе сушки нужно соблюдать следующие правила:

- при загрузке и эксплуатации сушилки не допускается превышать установленную предельно допустимую норму загрузки и предельно допустимую температуру сушки;
- в процессе сушки веществ и материалов необходимо осуществлять контроль концентрации паров в объеме сушильных камер газоанализаторами;
- в сушилках с кипящим слоем должны обеспечиваться нормируемые давления и скорости движения газов;
- загрузку тележек горючими материалами в сушилках периодического действия необходимо производить вне камеры;
- при сушке волокнистых материалов не допускается наматывания волокон на валы питателей, транспортеров и вентиляторов, необходимо соблюдать минимальные зазоры между цапфами валов и подшипниками;
- при сушке материалов в виде ленты (каучука, ткани, пропитанной полимерными материалами и других материалов)
- необходимо соблюдать установленную технологическим регламентом скорость движения ленты; иметь исправную блокировку, обеспечивающую автоматическое отключение обогрева при остановке или обрыве ленты, следить за тем, чтобы ленты были расправлены;
- при сушке измельченных материалов в виде крошки, волокнистой массы и других материалов, склонных к самовозгоранию, необходимо поддерживать установленную оптимальную толщину слоя;
- для очистки отработанного воздуха от пыли необходимо устанавливать фильтры, циклоны и другие устройства, не допускать отложения пыли в воздуховодах, на стенках камер, в калориферах и др.;
- необходимо предусматривать автоматическую блокировку для

отключения нагревательных устройств, при уменьшении скорости движения или остановке транспортных устройств;

- сушильные установки должны быть оборудованы обособленными системами вентиляции;

- для защиты сушильных камер от избыточного давления необходимо устанавливать предохранительные клапаны.

Причинами образования горючих паро- и пылевоздушных концентраций в сушилках конвективного типа являются:

- увеличение интенсивности испарения;
- остановка вентилятора или уменьшение его производительности;
- работа сушилок с большим коэффициентом рециркуляции;
- повышение температуры сушки.

Исследования последних лет направлены на совершенствование способов сушки, которые бы обеспечивали максимальную сохранность продукта, а также высокую эффективность процесса и его пожаробезопасность.

#### **Литература**

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ.
2. Лыков А.В. Теория сушки. М., “Энергия” 1968 г.
3. Лыков А.В. Теория сушки в промышленности.
4. Шикунов А.Н. Кинетика процессов сушки дисперсий и кристаллообразующих растворов.

#### **Подача пены в слой горючей жидкости как один из способов защиты облучаемого резервуара на нефтеперерабатывающих предприятиях**

*В.В. Кокорин, В.В. Волков, Уральский институт ГПС МЧС России*

На сегодняшний день при тушении вертикальных стальных резервуаров применяется два основных способа подачи пены в резервуары [1]. Первый способ, это подача пены на поверхность горячей жидкости. Этот способ осуществляется с помощью стационарной системы пожаротушения или передвижной пожарной техники. Второй способ – подача пены под слой горячей жидкости. При этом пена подается в слой жидкости и через некоторое время, после подъема ее на поверхность резервуара, образует пенное одеяло.

Согласно статистике, наиболее перспективным на сегодняшний

день является тушение пожаров подачей огнетушащей пены в слой горючей жидкости (подслойное тушение) [2]. Подслойное тушение пожара – способ тушения пожара нефти и нефтепродукта в резервуаре подачей низкократной пленкообразующей пены в основание резервуара непосредственно в слой горючего [3, 4]. Впервые был применен в Швеции. Широко используется в ряде развитых зарубежных стран – США, Японии и т.д.

Способы подслоного тушения.

1. Тушение пожара путем подачи пены в нижний слой горючего через трубопровод, расположенный в нижней части резервуара [1, 5].

При возгорании горючей жидкости через специальное устройство, смонтированное в нижней части резервуара, пена подается на тушение. Она поднимается внутри резервуара, обеспечивая перемешивание нефтепродукта, что приводит к снижению температуры его горящего слоя. Покрывает поверхность горючей жидкости и препятствует дальнейшему горению. При данном методе тушения пожара пена поднимается непосредственно над местом выпуска воздуха, что может привести к непопаданию пены в образовавшиеся карманы при длительном горении (рис. 1). Для быстрого перекрытия горячей поверхности необходимо увеличить количество мест, через которые будет происходить подача пены.

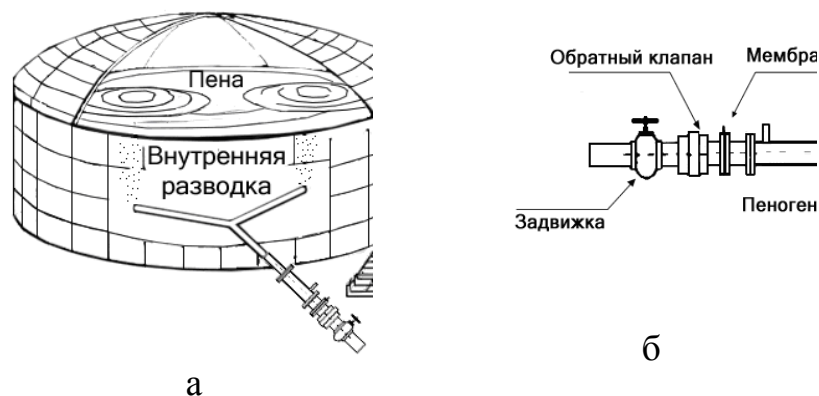


Рис.1. Установка пожаротушения для подачи пены в слой продукта через пенные насадки:  
а) общий вид резервуара с трубопроводом для подачи раствора пенообразователя; б) часть трубопровода с оборудованием для подачи раствора пенообразователя

2. Тушение пожара путем подачи пены в слой горючего через рукав, расположенный в нижней части резервуара [1, 5], рис. 2.

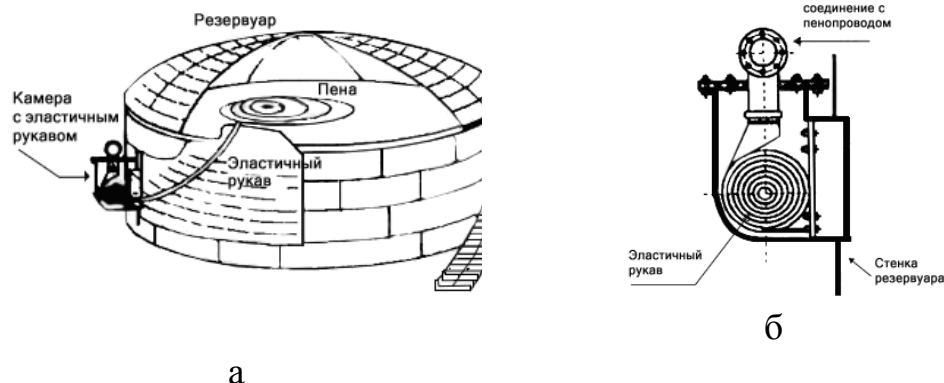


Рис. 2. Установка пожаротушения для подачи пены в слой продукта  
через эластичный рукав:

а) общий вид резервуара с эластичным рукавом; б) устройство с эластичным рукавом в сборе.

При возгорании горючей жидкости пена подается в капсулу со скрученным эластичным рукавом, смонтированным в нижней части резервуара, и под давлением разматывает его в резервуаре. Благодаря данному устройству пена подается непосредственно к поверхности горючей жидкости, покрывает ее и препятствует дальнейшему горению.

Так как пена подается через рукав, то перемешивание нефтепродукта в резервуаре не происходит. Установка подачи пены через слой горючего по эластичному рукаву предназначена для тушения пожаров горючих жидкостей в наземных металлических резервуарах, рассчитанных на внутреннее избыточное давление в газовом пространстве до 200 мм водяного столба. Значительным преимуществом данного метода является то, что с пеной на горящую поверхность выносится вся вода с ПАВ, а рукав является защитой от взаимодействия с горючей жидкостью. Недостатком является то, что по статистике это устройство в большинстве случаев не раскручивается и выходит из строя.

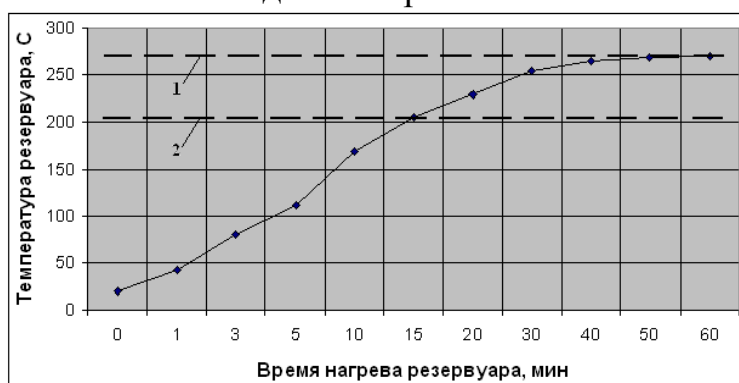


Рис. 3. Нагрев стенки облучаемого резервуара без использования системы подслоного тушения пожара: 1) порог разрушения конструкции; 2) порог самовоспламенения горючей жидкости

На рис. 3 показан свободный нагрев стенки облучаемого резервуара

без использования системы подслоного тушения пожара. Как видно, нагрев стенки резервуара объемом  $5000 \text{ м}^3$  в первые минуты (0 – 10 минут) происходит очень быстро. За 15 минут свободного нагрева стенка достигает температуры достаточной до самовоспламенения горючей жидкости в  $205,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Это приведет к пожару и, как следствие, к взрыву. Если взрыва не произойдет, а нагрев будет продолжаться дальше в течение 15 – 20 минут и достигнет предела в 30 – 35 минут, то температура стенки облучаемого резервуара достигнет максимальных величин. Последующий нагрев приведет к потере несущей способности всего резервуара. Если резервуар будет оборудован стационарной крышей, то под ее весом разрушение произойдет намного раньше.

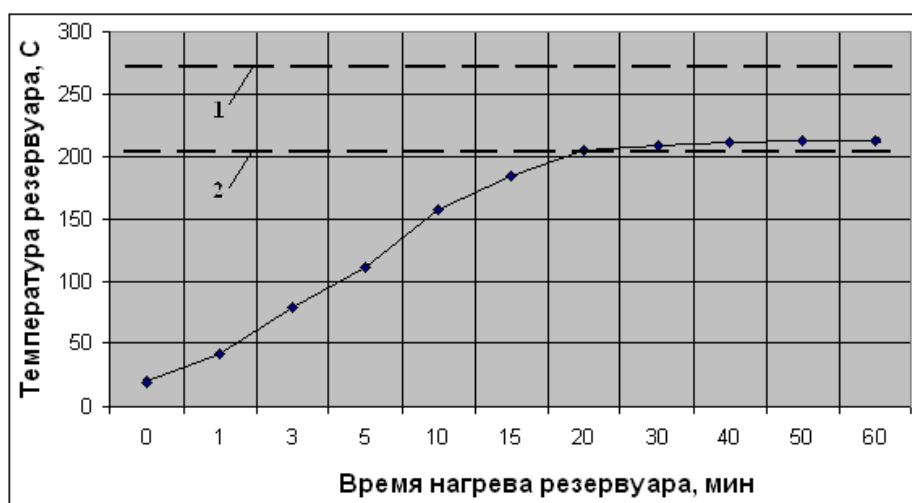


Рис. 4. Нагрев стенки облучаемого резервуара при использовании системы подслоного тушения пожара: 1) порог разрушения конструкции; 2) порог самовоспламенения горючей жидкости

На рисунке 4 показан свободный нагрев стенки облучаемого резервуара при использовании системы подслоного тушения пожара. Нагрев стенки облучаемого резервуара объемом  $5000 \text{ м}^3$  в первые минуты (0 – 10 минут) происходит аналогично случаю, приведенному на рисунке 3. При срабатывании системы подслоного тушения пожара пена, поднимаясь с нижней части резервуара вверх, перемешивает жидкость с более низкой температурой в нижних слоях с жидкостью с более высокой температурой в верхних слоях, что приводит к ее охлаждению. Это позволит немного уменьшить тепловой поток в начальный момент работы системы и увеличить время нагрева соседнего резервуара в среднем на 2 – 5 минут до температуры, приводящей к самовоспламенению горючей жидкости (20 минут). При последующей работе системы подслоного тушения пожара стенка облучаемого резервуара будет нагреваться значительно медленнее.

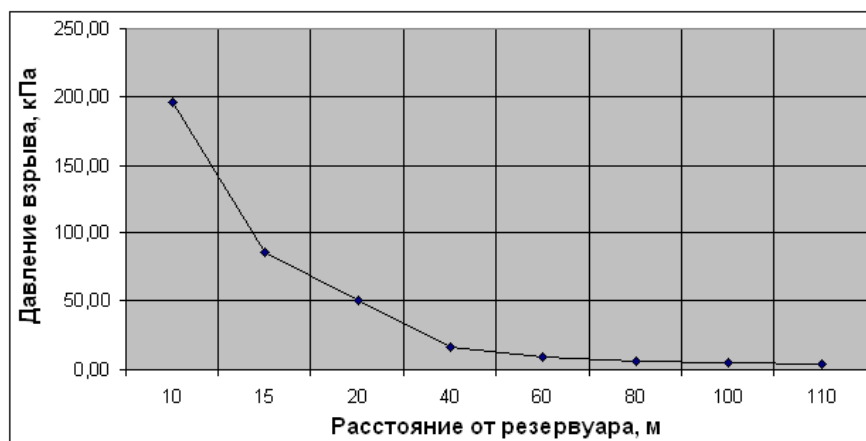


Рис. 5. Расстояние пройденное волной взрыва

На рисунке 5 показана зависимость давления волны взрыва от пройденного ею расстояния. Как видно, при давлении взрыва резервуара объемом  $5000 \text{ м}^3$  на расстоянии 30 метров (максимально допустимое расстояние между резервуарами) вокруг резервуара все здания и сооружения будут разрушены. На расстоянии, попавшем в интервал от 30 метров до 110 метров, давление волны взрыва представляет серьезную опасность для пожарной техники и л/с, привлеченного к тушению пожара. Только отметка в 110 метров от взорвавшегося резервуара является безопасным расстоянием, т.к. расчетное избыточное давление взрыва не превышает 5 кПа.

### Литература

1. Руководство по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках. – М.: ГУГПС – ВНИИПО – МИПБ. – 2000. – 79 с.
2. ГОСТ Р 53280.2-2010 Пенообразователи для подслоного тушения пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах // Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Общие технические требования и методы испытания. Часть 2.
3. Панков Ю.И. Перспективы развития противопожарной защиты объектов добычи, транспортировки нефти и газа // Состояние и перспективы развития противопожарной защиты объектов добычи, транспортировки, переработки нефти и газа: Материалы Всероссийского совещания – семинара. – Альметьевск: 1997. – С. 3 – 5
4. Шароварников А.Ф., Молчанов В. П. Подслоное тушение // Пожарное дело. – М.: 1995. - № 11. – С. 40 – 41.
5. НПБ 203-98 «Пенообразователи для подслоного тушения пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах. Общие технические требования. Методы испытаний» Москва, 1998 г.

## **Совершенствование противопожарной защиты автосалона «Митсубиси» (г. Челябинск)**

*Д.С. Малышенко, Г.В. Ваганова, Уральский институт ГПС МЧС России*

Противопожарная защита имеет своей целью изыскание наиболее эффективных, экономически целесообразных и технически обоснованных способов и средств предупреждения пожаров, их ликвидации с минимальным ущербом при наиболее рациональном использовании сил и технических средств тушения. Из года в год в стране развитие сети автосалонов расширяется. Пожарная опасность автосалонов характеризуется наличием большого количества офисов для персонала, автомобилей, а также проемов и перегородок, со средней горючей нагрузкой.

Автосалон расположен в Ленинском районе г. Челябинска на удалении 2000 м от 6-й ПЧ ФГКУ «3 ОФПС по Челябинской области». Предназначение продажа и обслуживание автомобилей. Площадь автосалона 4800 м<sup>2</sup>, конструктивных особенностей нет, имеется 14 выходов. Вентиляция приточно-вытяжная, расположена в технических проемах. Максимальное количество людей, одновременно находящихся в помещениях здания, – 115 человек, из них сотрудников – 92 человека. Основную функцию, которую выполняет автосалон, – хранение и предпродажную подготовка автомобилей личного пользования. Технология этого заключается в необходимости транспортировки автомобиля к месту стоянки и из автосалона. При движении из автосалона владелец транспортного средства, как правило, прогревает автомобиль. Именно в момент работы двигателя автомобиля может произойти загорание. В автосалоне имеется ремонтная зона, для выполнения мелкого ремонта легковых автомобилей. В ремонтной зоне будут возможны: выполнение различных работ, таких как: монтаж, демонтаж шин, регулировка двигателя, регулировка карбюратора и другие виды работ.

В случае возникновения пожара наличие пожароопасных веществ будет способствовать его быстрому распространению, созданию опасных факторов пожара, угрозы людям и нанесению объекту крупного материального ущерба. В целях ликвидации начальной стадии пожара и предотвращения тяжелых последствий, необходимо оборудовать помещения автоматическими системами пожаротушения.

В кабинете охраны сосредоточены приемные станции охранной и пожарной сигнализации. Системы автоматической пожарной сигнализации, применяемые в автосалонах, должны соответствовать требованиям СП 5.13130

Данный комплекс оборудован АУПС со звуковым оповещением.

Система оповещения речевая 3-го типа, система тушения пожара спринклерная, модули порошкового ПТ. В автосалоне «Митсубиси» г. Челябинска целесообразно использовать: СОУЭ 3-го типа на базе устройств ИСО «Орион», производитель ЗАО НВП «Болид». Важным преимуществом интегрированной системы ИСО «Орион» является то, что связь и взаимодействие между приборами пожарной сигнализации, пожаротушения, оповещения и другими системами осуществляется по информационному протоколу интерфейса RS-485, а не посредством «сухих контактов» - реле. Интерфейс RS-485 позволяет создавать сети путем параллельного подключения многих устройств к одной физической линии («мультиплексная шина»), обеспечивая обмен данными между несколькими устройствами по одной двухпроводной линии связи в полудуплексном режиме. Сигналы интерфейса RS-485 передаются дифференциальными перепадами напряжения, что обеспечивает высокую помехоустойчивость. Пульт объединяет подключенные к нему приборы в одну систему, обеспечивая их взаимодействие между собой. Пульт необходим для использования приборов, таких как «Сигнал-20П», «С2000-КПБ».

Системы 3-го типа устанавливаются на объектах в тех случаях, когда требуется речевое оповещение и, возможно, существует необходимость в раздельном оповещении в нескольких зонах. Пример реализации СОУЭ 3-го типа с единственной зоной оповещения строится на базе приборов «Сигнал-10» и прибора речевого оповещения «Рупор». Оба прибора в данном случае работают в автономном режиме. «Рупор» предназначен для трансляции предварительно записанной речевой информации. Имеет два параллельных канала оповещения по 10 Вт, рассчитанных на подключение недорогих низкоомных акустических модулей. Может запускаться централизованно командой по интерфейсу RS-485 или локально (т.е. есть возможность применения в системах пожарной сигнализации, пожаротушения сторонних фирм, посредством «сухих контактов»). Запуск речевого оповещения локально производится при нарушении одного из четырех шлейфов прибора. К каждому из шлейфов можно привязать свое речевое сообщение. Кнопкой с лицевой панели прибора «Рупор» также можно запустить один сценарий оповещения локально. Прибор поддерживает настройку таких параметров, как задержка оповещения, пауза между речевыми сообщениями, преамбулы речевого сообщения, время оповещения, приоритеты оповещения для сообщений.

При необходимости разделения СОУЭ на зоны оповещения, на программном уровне, можно создать логику работы приборов «Рупор исп.01» по разным сценариям и с разным временем задержки оповещения. «Рупор исп. 01» предназначен для трансляции предварительно записанной речевой информации. Имеет один канал оповещения мощностью 12 Вт, рассчитанный на подключение недорогих низкоомных акустических

модулей. Питание прибора от внешнего источника напряжением 24 В или 12 В упрощает монтаж. Запускается прибор централизованно командой по интерфейсу RS-485. Прибор поддерживает настройку таких параметров, как задержка оповещения, пауза между речевыми сообщениями, преамбулы речевого сообщения, время оповещения, приоритеты оповещения для сообщений.

#### **Литература**

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22. 07.2008 № 123-ФЗ.
2. СП 5.13130.2009 «Автоматические установки сигнализации и пожаротушения».

### **Пожарная безопасность объектов системы газоснабжения ООО «Газпром добыча Оренбург»**

*А.И. Туманов, Г.В. Ваганова, Уральский институт ГПС МЧС России*

Необходимость широкого применения автоматических противопожарных систем обусловлена в первую очередь характером горючих веществ, обращающихся в технологических циклах на объектах системы газоснабжения

ООО «Газпром Добыча Оренбург». В основном это горючие газы, а также легковоспламеняющиеся горючие жидкости. Эффективное тушение загораний этих веществ возможно лишь на начальном этапе, поэтому в газовой отрасли промышленности внедрению систем пожарной автоматики уделяется большое внимание.

Так на участке базы производственно-технического обслуживания и комплектации ООО «Газпром Добыча Оренбург» имеются два резервуара для хранения метанола объемом 1000 м<sup>3</sup> каждая (в обваловании высотой 2 м., площадь обвалования 2960 м<sup>2</sup> 74х40 ), 20 емкостей по 25 м<sup>3</sup> для хранения соляной кислоты (в обваловании высотой 1,8 м, площадь обвалования 1600 м<sup>2</sup> 40х40), сливная ж.д. эстакада, автоналивная эстакада, насосная, пропарочная. Метанол (ГОСТ 12.1.005) относится к 3-му классу опасности, соляная кислота (ГОСТ 12.1.005) относится к 2-му классу опасности.

Метанол – легковоспламеняющаяся жидкость, температура вспышки 6 °С, температура воспламенения 13 °С, температура самовоспламенения 440 °С, концентрационные пределы распространения пламени: 6,72-36,5 % об. Сильный нервный яд, поражает зрительный нерв, сетчатку глаза

Соляная кислота – негорючая жидкость. Азеотропная смесь,

содержащая 20,24% (масс.) HCl, кипит при 110 °С с выделением водорода. Сильные окислители вызывают выделение газообразного хлора, а смеси азотной и соляной кислот – выделение хлора и гемииоксида азота.

Такие взрывопожароопасные объекты подлежат защите автоматическими установками пожаротушения и пожарной сигнализации, которые должны соответствовать требованиям норм пожарной безопасности (НПБ) 110-03.

На рынке существует ряд предприятий-разработчиков и поставщиков систем управления для объектов ОАО «Газпром» (например, такие как ЗАО НПФ «Система-Сервис», ЗАО «Система-ГАЗ»). На основе контроллеров и средств отображения информации для управления основной технологией были созданы пожарные контроллеры и панели сигнализации и управления, в полной мере отвечающие требованиям норм пожарной безопасности НПБ 75-98, предъявляемым к пожарным приемно-контрольным приборам и приборам управления. На эти контроллеры получены сертификаты пожарной безопасности.

#### **Литература**

1. Нормы пожарной безопасности НПБ 75–98 — Приборы приемно-контрольные пожарные. Приборы управления пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний.
2. Об утверждении норм пожарной безопасности "Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и автоматической пожарной сигнализацией: Приказ МЧС РФ от 18 июня 2003 г. N 315 (НПБ 110-03).
3. ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

### **Коррозия металлов в технологических процессах**

*В.А. Сысоев, Ю.В. Мельниченко, Уральский институт ГПС МЧС России*

Коррозия – это самопроизвольное разрушение металлов в результате химического или физико-химического взаимодействия с окружающей средой. Суммарно в большинстве стран потери от коррозии составляют 4–6% национального дохода.

Статистика показывает, что причиной каждой третьей аварии на проложенном в грунте трубопроводе является коррозия.

Так, 12 марта 2007 года произошла авария на магистральном нефтепродуктопроводе «Альметьевск-Нижний Новгород» в районе села Слободское Кстовского района. Комиссией установлены следующие

причины аварии: в результате коррозии образовалось сквозное отверстие в стенке трубы; не проводились диагностические работы с целью определения технического состояния трубопровода и возможности его дальнейшей безопасной эксплуатации на данном участке магистрального нефтепродуктопровода. В результате повреждения нефтепродуктопровода произошел разлив дизельного топлива в грунт, а затем в реку Шавка. По официальным данным, объем сброса дизельного топлива из нефтепровода составил 306 тысяч тонн, однако фактически объем сброса был гораздо больше.

В Киевской области Украины у села Лука 7 мая 2007 года возле компрессорной станции №35 Ставище на газопроводе Уренгой-Помары-Ужгород произошел взрыв. Взрывной волной тридцатиметровый кусок трубы диаметром 1420 мм отбросило на 150 м. Газ подавался под давлением 74 атмосферы. Пожар ликвидирован. В радиусе 1 га выгорели зеленые насаждения. Предварительный ущерб от аварии на трубопроводе Уренгой – Помары – Ужгород в НАК «Нафтогаз» оценивают в сумму около 600 тыс. долларов. Наиболее вероятной причиной аварии в «Нафтогазе Украины» называют повреждение трубы из-за специфических условий почвы – ее заболоченности, которая могла вызвать коррозию.

В Москве в воскресенье 10 мая 2009 г. ночью произошел разрыв газопровода высокого давления с последующим возгоранием.

Разрыв произошел в районе Мичуринского проспекта, недалеко от въездного поста ДПС. Выброс пламени регистрируется на высоте до 100 метров. В районе Озерной улицы, рядом с источником выброса горящего газа, загорелась кровля трехэтажного здания, кроме того, загорелись и взорвались несколько припаркованных автомобилей. Пожару присвоена пятая категория сложности – высшая из возможных. Эксперт оценил происшествие как "самый большой и крупный пожар газопровода в Москве как минимум за последние 20 лет". К разрыву трубы привела коррозия сварного шва. В результате аварии пострадало 5 человек. Трое пострадавших получили ожоги менее 10% тела. Еще один пострадавший получил ожоги 8% тела. Сильнее всех пострадал мужчина, у которого обожжено 35% тела.

2 июля 2010 года произошла авария на наружной эстакаде межцеховых коммуникаций, в составе 50 трубопроводов завода «Мономер» компании ОАО «Салаватнефтеоргсинтез», Республика Башкортостан. Аварийный трубопровод был составной частью системы трубопроводов пропилена, предназначенных для подачи пропилена из цеха № 56 производства ЭП-300. В результате выведены из строя (деформированы или разрушены) все 50 трубопроводов, проложенных на эстакаде, диаметром от 80 до 700 мм, из них 43 трубопровода – действующие и 7 трубопроводов – недействующие. Причина аварии – разрушение двух трубопроводов: пропилена (диаметром 150 мм) и этилена

(диаметром 300 мм). Первичное разрушение произошло на трубопроводе пропилен и было спровоцировано разрушением его участка в месте утоньшения под опорой вследствие атмосферной коррозии. Последовавшее за этим быстрое испарение среды привело к образованию взрывоопасной газовой смеси, взрыву и формированию ударной волны.

Наибольшие потери от коррозии несут топливно-энергетический комплекс (ТЭК), сельское хозяйство, химия и нефтехимия. Потери металла от коррозии составляют: в ТЭК – 30%, химии и нефтехимии – 20%, сельском хозяйстве – 15%, металлообработке – 5%.

В РФ выход из строя оборудования вследствие общей коррозии составляет 31%, коррозионного растрескивания – 22 %, Точечной коррозии – 16%, межкристаллитной коррозии – 10 %, кавитации и эрозии – 9%, коррозионной усталости – 2 %, других видов коррозии – 10%.

Современная нефтеперерабатывающая промышленность характеризуется использованием установок большой единичной мощности и технологических сред с высокой коррозионной агрессивностью.

Нефтегазовые сооружения (трубопроводные, магистральные и промысловые системы, несущие конструкции нефтеперерабатывающих заводов и т.д.) эксплуатируются в условиях воздействия добываемых, транспортируемых, перерабатываемых углеводородных продуктов и агрессивных коррозионных сред.

Анализ причин отказов и аварий нефтегазовых сооружений свидетельствует о преобладающем влиянии коррозионного фактора. В нефтедобывающей промышленности и транспорте нефти 70% отказов произошло по причине коррозионных повреждений.

К ускоренному коррозионному и эрозионному износу промыслового оборудования приводят высокие темпы отбора нефти с одновременным извлечением огромного количества высокоминерализованных пластовых вод, всевозрастающие объемы закачки в нефтяные пласты агрессивных сточных вод, широкое применение для увеличения нефтеотдачи пластов химических реагентов. Взаимодополняющие друг друга обстоятельства – снижение качества труб (как металла, из которого они изготовлены, так и конечного продукта) и увеличение агрессивности транспортируемых по ним сред – способствуют тому, что аварий становится все больше.

К основным коррозионно-активным агентам нефтепромысловых сред относятся сероводород, кислород, диоксид углерода, низкомолекулярные компоненты нефти.

По степени агрессивности воздействия на коррозионный процесс наиболее сильное влияние оказывает сероводород. При адсорбции ионов  $H^+$  ослабляется связь между поверхностными атомами, что облегчает проникновение водорода в металл.

В результате этого идет процесс наводороживания металла,

приводящий к увеличению механических напряжений в металле, появлению трещин, пузырей, водородной хрупкости.

Коррозийный процесс в металлах может развиваться лишь в некоторых участках поверхности (местная коррозия), охватить всю поверхность (равномерная коррозия), или же разрушать металл по границам зерен (межкристаллитная коррозия).

Различают внутренние и внешние факторы коррозии. Внутренние факторы характеризуют влияние на вид и скорость коррозии природы металла (состав, структура и т.д.). Внешние факторы определяют влияние состава коррозионной среды и условий протекания коррозии (температура, давление и т.д.).

Коррозионные процессы классифицируют по механизму взаимодействия металлов с внешней средой; по виду коррозионной среды и условиям протекания процесса; по характеру коррозионных разрушений; по видам дополнительных воздействий, которым подвергается металл одновременно с действием коррозионной среды.

По механизму процесса различают химическую и электрохимическую коррозию металлов.

Химическая коррозия – это процесс взаимодействия металла с коррозионной средой, при котором окисление металла и восстановление окислительного компонента среды протекают одновременно в одном акте. Продукты взаимодействия пространственно не разделены.

Электрохимическая коррозия – это процесс взаимодействия металла с коррозионной средой (раствором электролита), при которой ионизация атомов металла и восстановление окислительной компоненты коррозионной среды протекают не в одном акте и их скорости зависят от электродного потенциала. Происходит следующее: металлы утрачивают часть атомов (они переходят в электролитический раствор в виде ионов), электроны, замещающие утраченные атомы, заряжают металл отрицательным зарядом, в то время как электролит имеет положительный заряд. Образуется гальваническая пара: металл разрушается, постепенно все его частицы становятся частью раствора.

По виду коррозионной среды и условиям протекания различают несколько видов коррозии. Газовая коррозия – это химическая коррозия металлов в газовой среде при минимальном содержании влаги (как правило, не более 0,1%) или при высоких температурах. В химической и нефтехимической промышленности такой вид коррозии встречается часто. Атмосферная коррозия – это коррозия металлов в атмосфере воздуха или любого влажного газа. Подземная коррозия – это коррозия металлов в почвах и грунтах. Биокоррозия – это коррозия, протекающая под влиянием жизнедеятельности микроорганизмов. Контактная коррозия – это вид коррозии, вызванный контактом металлов, имеющих разные стационарные потенциалы в данном электролите. Радиационная коррозия – это коррозия,

обусловленная действием радиоактивного излучения. Коррозия внешним током и коррозия блуждающим током. В первом случае – это коррозия металла, возникающая под воздействием тока от внешнего источника. Во втором случае – под воздействием блуждающего тока. Коррозия под напряжением – коррозия, вызванная одновременным воздействием коррозионной среды и механических напряжений. Если это растягивающие напряжения, то может произойти растрескивание металла. Это очень опасный вид коррозии, особенно для конструкций, испытывающих механические нагрузки (оси, рессоры, автоклавы, паровые котлы, турбины и т.д.).

Важнейшее значение в решении задачи снижения скорости коррозии оборудования имеет повышение уровня противокоррозионной защиты, что, в свою очередь, обеспечивает промышленную безопасность производства и его экономическую эффективность.

Каких-либо способов полностью исключить коррозионное разрушение металлов не существует, все, что можно сделать, это максимально замедлить этот процесс.

Для минимизации разрушения металлов можно сделать следующее: снизить агрессивность среды, окружающей металлическое изделие; повысить устойчивость металла к коррозии; исключить взаимодействие между металлом и веществами из внешней среды, проявляющими агрессивность.

Идеальная защита от коррозии на 80 % обеспечивается правильной подготовкой поверхности и только на 20 % качеством используемых лакокрасочных материалов и способом их нанесения.

Обычно выделяют три направления методов защиты от коррозии: конструкционный, активный, пассивный.

Для предотвращения коррозии в качестве конструкционных материалов применяют нержавеющие стали, кортеновские стали, цветные металлы. При проектировании конструкции стараются максимально изолировать от попадания коррозионной среды, применяя клеи, герметики, резиновые прокладки.

Активные методы борьбы с коррозией направлены на изменение структуры двойного электрического слоя. Применяется наложение постоянного электрического поля с помощью источника постоянного тока, напряжение выбирается с целью повышения электродного потенциала защищаемого металла. Другой метод – использование жертвенного анода, более активного материала, который будет разрушаться, предохраняя защищаемое изделие.

В качестве защиты от коррозии может применяться нанесение какого-либо покрытия, которое препятствует образованию коррозионного элемента (пассивный метод).

Рассмотрим наиболее распространенные методы защиты от коррозии.

Антикоррозийная защита неметаллическими покрытиями.

Неметаллические покрытия – краски (алкидные, масляные и эмали), лаки (синтетические, битумные и дегтевые) и полимеры образуют защитную пленку на поверхности металлов, исключая (при своей целостности) контакт с внешней средой и влагой.

Методы нанесения лакокрасочных материалов просты и поддаются механизации, восстановить поврежденные покрытия можно во время эксплуатации, эти материалы имеют сравнительно низкую стоимость и их расход на единицу площади невелик. Однако эффективность их зависит от соблюдения нескольких условий: соответствие климатическим условиям, в которых будет эксплуатироваться металлическая конструкция; необходимость применения исключительно качественных лакокрасочных материалов; неукоснительное следование технологии нанесения на металлические поверхности. Лакокрасочные материалы лучше всего наносить несколькими слоями – их количество обеспечит лучшую защиту от атмосферного воздействия на металлическую поверхность.

Защита железа от коррозии покрытиями из других металлов.

Существует два типа металлических покрытий-ингибиторов – протекторные (покрытия цинком, алюминием и кадмием) и коррозионностойкие (покрытия серебром, медью, никелем, хромом и свинцом). Ингибиторы наносятся химическим способом: первая группа металлов имеет большую электроотрицательность по отношению к железу, вторая – большую электроположительность.

Несмотря на эффективность цинкования, оно не дает идеальной защиты – цинковое покрытие часто содержит трещины, не позволяет наносить лакокрасочные материалы – нет устойчивого покрытия. Лучшее решение для антикоррозийной защиты – алюминиевое покрытие. Этот металл меньше расходуется, алюминированные поверхности можно окрашивать и слой лакокрасочного покрытия будет устойчив. Алюминиевое покрытие по сравнению с оцинкованным обладает большей стойкостью в агрессивных средах. Алюминирование слабо распространено из-за сложности нанесения этого покрытия на металлический лист – алюминий в расплавленном состоянии проявляет высокую агрессию к другим металлам (по этой причине расплав алюминия нельзя содержать в стальной ванне).

Повышение коррозионной стойкости путем добавления в стальные сплавы легирующих добавок.

Введение в стальную сплав хрома, титана, марганца, никеля и меди позволяет получить легированную сталь с высокими антикоррозийными свойствами. Особенную стойкость стальному сплаву придает большая доля хрома, благодаря которому на поверхности конструкций образуется оксидная пленка большой плотности. Введение в состав низколегированных и углеродистых сталей меди (от 0,2% до 0,5%)

позволяет повысить их коррозионную устойчивость в 1,5–2 раза. Высокая коррозионная устойчивость достигается, когда на восемь атомов железа приходится один атом легирующего металла.

Меры противодействия электрохимической коррозии.

Для ее снижения необходимо понизить коррозионную активность среды посредством введения неметаллических ингибиторов и уменьшить количество компонентов, способных начать электрохимическую реакцию. Таким способом будет достигнуто понижение кислотности почв и водных растворов, контактирующих с металлами. Для снижения коррозии железа, латуни, меди, свинца и цинка из водных растворов необходимо удалить диоксид углерода и кислород. В электроэнергетической отрасли проводится удаление из воды хлоридов, способных повлиять на локальную коррозию.

Долговечность и безаварийность работы трубопроводов напрямую зависит от эффективности их противокоррозионной защиты.

Разработка методов борьбы с коррозией должна строиться на глубоком изучении тех объектов, коррозионные разрушения которых приводят к наиболее значительным потерям. Это особенно актуально в связи с интенсификацией и строительством новых высокопроизводительных установок большой единичной мощности.

Последствием аварии может быть не только экономический ущерб, связанный с потерей транспортируемого продукта, но и значительный вред, наносимый экологии и инфраструктуре населенного пункта. Поэтому организации, в чьем ведении находится эксплуатация подземных инженерных систем, должны уделять особое внимание их надежной противокоррозионной защите.

#### **Литература**

1. Андреев И.Н. Коррозия металлов и их защита. – Казань: Татарское книжное издательство, 1979;
2. Ревы Р.У., Улиг Г.Г. Коррозия и борьба с ней. – Л.: Химия, 1989;
3. ГОСТ 5272-68 Коррозия металлов. Термины.
4. <http://www.rmmt.ru/>
5. <http://www.safeprom.ru/>

### **Вопросы пожарной безопасности технологического процесса первичной переработки нефти**

*Д.А. Закиров, Т.Б. Ванеева, Уральский институт ГПС МЧС России*

Огромное влияние на экономику нашей страны оказывает нефтяная

индустрия. Роль нефти и продуктов ее переработки для народного хозяйства трудно переоценить. Из нефти получают бензин, керосин, реактивные дизельные и котельные топлива, сжиженные газы и сырье для химических производств.

За последние годы произошли крупные изменения в технологии переработки нефти. Появилось новое, более совершенное и высокопроизводительное оборудование. Широко используется комбинирование технологических процессов в одной установке, что значительно увеличивает пожаровзрывоопасность технологических процессов. Оценка пожаровзрывоопасности производственных объектов необходима для решения вопросов их безопасности и приведения в соответствие с фактическим и требуемым уровнями взрывопожарной безопасности с целью снижения пожаров и приносимого ими ущерба. Для профилактики аварийных ситуаций необходимо прогнозирование, позволяющее выявить места возможных аварий на объекте и разработать мероприятия по снижению негативных последствий.

В технологическом процессе принимают участие разнообразные легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, газы в холодном и нагретом состоянии при давлении до 1,8 МПа. Рассмотрим ниже пожароопасные свойства основных веществ, обращающихся в процессе [2]:

*Нефть* – легковоспламеняющаяся жидкость темно-бурого цвета, представляющая собой смесь углеводородов. Плотность 840–880 кг/м<sup>3</sup>, температура вспышки  $t_{всп} = -35^{\circ}\text{C}$ , температура самовоспламенения  $t_c = 320^{\circ}\text{C}$ , температурные пределы воспламенения нижний –  $21^{\circ}\text{C}$ , верхний –  $80^{\circ}\text{C}$ , скорость выгорания 9–12 см/ч, скорость прогрева слоя и его нарастания 24–36 см/ч, температура пламени  $1100^{\circ}\text{C}$ , температура прогретого слоя  $130\text{--}160^{\circ}\text{C}$ .

*Бензин* – бесцветная легковоспламеняющаяся жидкость, представляющая собой смесь легких углеводородов. Плотность 730 кг/м<sup>3</sup>, температура вспышки  $t_{всп} = 36^{\circ}\text{C}$ ,  $t_c = 300^{\circ}\text{C}$ , область воспламенения 0,9–7,5 объемных, температурные пределы воспламенения нижний  $-36^{\circ}\text{C}$ , верхний  $-7^{\circ}\text{C}$ , скорость нарастания прогретого слоя 70 см/ч, температура прогретого слоя  $80\text{--}100^{\circ}\text{C}$ , скорость выгорания 20–30 см/ч, температура пламени  $1200^{\circ}\text{C}$ .

*Топливо ТС-1* – легковоспламеняющаяся жидкость, используемая для реактивных двигателей. Плотность 775 кг/м<sup>3</sup>,  $t_{всп} = 28^{\circ}\text{C}$ ,  $t_c = 220^{\circ}\text{C}$ , область воспламенения паров 1,4–7,5% объемных, температурные пределы воспламенения паров нижний  $20^{\circ}\text{C}$ , верхний  $57^{\circ}\text{C}$ , скорость выгорания 1,7 мм/мин.

*Дизельное топливо (зимнее)* – горючая жидкость. Плотность 836 кг/м<sup>3</sup>,  $t_{всп} = 68^{\circ}\text{C}$ ,  $t_c = 240^{\circ}\text{C}$ , температурные пределы воспламенения нижний  $690^{\circ}\text{C}$ , верхний  $119^{\circ}\text{C}$ .

*Мазут* – горючая жидкость. Плотность 890–995 кг/м<sup>3</sup>, скорость

выгорания 6 см/ч, скорость нарастания прогретого слоя 24–42 см/ч, температура прогретого слоя 230–300<sup>0</sup>С, температура пламени 1000<sup>0</sup>С,  $t_{всп} = 140^0\text{C}$ ,  $t_c = 380^0\text{C}$ , температурные пределы воспламенения нижний 138<sup>0</sup>С, верхний 145<sup>0</sup>С.

Из анализа пожароопасных свойств веществ видно, что в данном производстве применяются вещества, которые могут образовать горючую среду в аппаратах, в помещениях насосных и на территории установки.

Самую большую опасность для производства представляют повреждения и аварии технологического оборудования и трубопроводов, в результате которых значительное количество горючих веществ выходит наружу, вызывая опасное скопление паров жидкости, загазованность открытых территорий, разлив жидкости на большие площади.

Аварии при эксплуатации технологического оборудования возникают в результате механических, химических и электрических воздействий.

К механическим воздействиям можно отнести: сверхрасчетные давления, возникающие при нарушении материального баланса и режима работы насоса, повышение сверхрасчетной температуры, накипи на отводящих трубопроводах, уменьшающих их сечение, гидравлические удары, вибрации, температурные перенапряжения.

Химическая коррозия происходит за счет воздействия кислорода воздуха и сероводорода, содержащегося в сырой нефти. От кислородной коррозии происходит образование ржавчины. Разрушение материала стенок трубопроводов и аппаратов образуется и за счет наиболее часто встречающийся электрохимической коррозии. Одной из разновидностей ее является атмосферная коррозия. В присутствии влаги на поверхностях трубопроводов и аппаратов образуется тонкая пленка с растворенными в ней воздухом и примесями, присутствующими в атмосфере. Эта пленка влаги и является электролитом. В результате электрохимического воздействия электролита на металл последний растворяется, что приводит к утоньшению металла и снижению его механической прочности.

При ремонте и эксплуатации технологического оборудования имеет место высечение искр при использовании искрящего инструмента. Температура искр, образующихся при соударении металла, способных вступить в химическое взаимодействие друг с другом с выделением значительного количества тепла, и может превышать температуру плавления. Наиболее опасными по возможности перегрева являются подшипники скольжения сильно нагруженных и высокооборотных валов.

Довольно частое явление – пожары, вызванные открытым огнем. Это объясняется не только тем, что открытый огонь широко используется для производственных целей, при аварийных и ремонтных работах и поэтому нередко создаются условия для случайного контакта пламени с горючей средой, но и тем, что температура пламени, а также количество

выделяющегося при этом тепла достаточно для воспламенения почти всех горючих веществ.

Пожары на нефтеперерабатывающих заводах протекают в сложных условиях с быстрым распространением огня на соседние аппараты и участки, и, зачастую, принимают характер катастрофы с огромным материальным ущербом. Наличие больших объемов легковоспламеняющихся и горючих жидкостей приводит к тому, что пожар на установке может принять значительные размеры. Условиями распространения горения на установке являются: разливы по территории установки горючих и легковоспламеняющихся жидкостей; разветвленная сеть промышленной канализации при неэффективности гидравлических затворов в колодцах; отсутствие аварийных сливов из емкостных аппаратов, линий стравливания газовоздушных смесей из аппаратов; разветвленная сеть трубопроводов при отсутствии на них гидравлических затворов. При пожаре возможен взрыв, так как имеет место образование взрывоопасных концентраций в них. Испарение паров легковоспламеняющихся жидкостей и газов будет создавать газовоздушную смесь, которая при ветреной погоде будет перемещаться к возможному очагу пожара.

Определим общее количество нефти, выходящей при полном разрушении резервуара [4]:

- объем резервуара  $V = 2000 \text{ м}^3$ ;
- степень заполнения  $E = 0,9$ ;
- температура  $25^\circ\text{C}$ ;
- диаметр трубопроводов  $D_{\text{тр}} = 100 \text{ мм}$ ;
- расход насосов  $q_1 = 2,5 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}$ ,  $q_2 = 0,5 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}$ ;
- время отключения трубопроводов принимается равным 120 с;
- время испарения разлившейся жидкости 1 ч;
- расстояние от аппарата до задвижек на трубопроводах 10 м;
- 1 л горючей жидкости разливается на  $1 \text{ м}^2$ ;
- нефть находится в аппарате при атмосферном давлении.

Количество горючих веществ, выходящих наружу при полном разрушении аппарата, определяют по формуле

$$G_{\text{п}} = G_{\text{ап}} + G'_{\text{тр}} + G''_{\text{тр}},$$

где  $G_{\text{п}}$  – количество веществ, выходящих из системы при полном разрушении аппарата, кг;  $G_{\text{ап}}$  – количество веществ, выходящих из разрушенного аппарата, кг;  $G'_{\text{тр}}$ ,  $G''_{\text{тр}}$  – количество веществ, выходящих из трубопроводов (соответственно) до момента отключения и после закрытия задвижек или других запорных устройств, кг.

Для аппаратов с жидкостями количество их выделения определяется по формуле

$$G_{\text{п,ж}} = (V_{\text{ап}} \cdot E + q_{\text{и,н}} \cdot t + L_{\text{и,тр}} \cdot f_{\text{и,тр}}) \cdot r_{\text{т,ж}},$$

где  $V_{\text{ап}}$  – внутренний объем аппарата  $2000 \text{ м}^3$  (по условию);  $E = 0,9$  – степень заполнения аппарата (по условию);  $q_{i,H}$  – расходы насосов  $q_1 = 2,5 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}$ ,  $q_2 = 0,5 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}$  (по условию);  $L_{i,mp}$ ,  $f_{i,mp}$  – соответственно длина  $10 \text{ м}$  (по условию) и сечение участков трубопровода ( $\text{м}^2$ ) (от аварийного аппарата до запорного устройства), из которого происходит истечение жидкости;  $r_{t,ж}$  – плотность жидкости  $840 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;  $t$  – время отключения трубопроводов  $120 \text{ с} = 0,033 \text{ ч}$  (по условию).

$$G_{\text{п,ж}} = (2000 \cdot 0,9 + 2,5 \cdot 0,033 + 0,5 \cdot 0,033 + 10 \cdot 0,00785) \cdot 840 = 1512149 \text{ кг}$$

### Литература

1. Технический регламент «О требованиях пожарной безопасности»: Федеральный закон Российской Федерации от 21.07.2008 года № 123-ФЗ.
2. ГОСТ-12.1.0044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов.
3. ППБ-79 «Правила пожарной безопасности при эксплуатации нефтеперерабатывающих предприятий» М.: 1979.
4. <http://www.coolreferat.com> / Пожарная безопасность установки первичной перегонки нефти. Часть 4.

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ И ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

### *Современные проблемы и инновации*

#### Тепловизионный мониторинг пожаров

*Е.А. Звонарев*, Уральский государственный горный университет,  
*О.В. Беззапонная*, Уральский институт ГПС МЧС России

Известно, что пожары наносят большой материальный и экологический ущерб. В связи с тем, что пожары развиваются быстро, необходимо своевременное их обнаружение. Своевременное обнаружение очагов возгорания наиболее эффективно за счёт использования ИК детекторов, в основе работы которых лежит оптический принцип детектирования [1]. Благодаря использованию ИК детекторов с системой видеонаблюдения можно получить информацию о мелких возгораниях, их местонахождении и провести оценку развития пожара.

Инфракрасное излучение представляет собой электромагнитные волны с длиной от 0,75 до 1000 мкм, превышающие длины волн видимого спектра, но более короткие, чем микроволновое излучение. Из-за атмосферного поглощения ИК-излучения реальный диапазон, пригодный для детектирования, ограничивается приблизительно 30 мкм. ИК-детекторы используют, как правило, длины волн, лежащие в окнах прозрачности атмосферы — в диапазоне 3–5 мкм (MIR) и 8–14 мкм (FIR). С помощью FIR-детекторов можно получить значительную информацию о слабо нагретых объектах, например, о местонахождении человека (спектральная длина волны теплового излучения человека с температурой 37 °С составляет примерно 9,3 мкм).

Инфракрасные камеры воссоздают образ теплого объекта по сигналам от первичных преобразователей — датчиков теплового излучения. Современные датчики включают подложку, на которой размещен массив детекторов в фокальной плоскости focal plane array (FPA) — множество детектирующих элементов. Подложка также включает ИС (интегральная схема), обычно называемую Read Out Integrated Circuit (ROIC), которая электрически соединяется с детектирующими элементами. Инфракрасная энергия от объектов фокусируется посредством оптики на ИК-детектор, информация от него передается на мультиплексирующую сенсорную электронику для обработки изображения, которое транслируется на стандартный видеомонитор.

В пользу применения тепловых инфракрасных камер свидетельствуют следующие признаки:

- Отличная работа в условиях плохой освещенности — датчики хорошо «видят» тепло в ночное время суток, в условиях дождя, снега, тумана, смога.
- Тепловизоры не чувствительны к бликам от солнца и ослеплению от встречных источников света.
- Достигается значительная экономия мощности ИК-светодиодов или ИК-прожекторов.
- Высокая дальность действия — до 500 м и более, даже в условиях ночного освещения.

Работа ИК-детекторов практически не зависит от погодных условий. Так, дождь значительно снижает характеристики стандартных видеокамер вследствие того, что капли дождя имеют большую отражательную способность, чем воздух и становятся видимыми, отражая свет. Снег и туман, ввиду малого размера капель и их высокой плотности, являются еще большими негативными факторами для стандартных видеокамер, чем дождь, но на передачу тепловой энергии практически не влияют. Имеется только очень малая зависимость рассеяния тепловой энергии в условиях дождя или снега, причем на дальних расстояниях (более 30 м) тепловое

излучение проникает лучше, чем видимый или близкий ИК свет. Смог, пыль, выхлопы и дым представляют собой твердые частицы, полностью рассеивающие видимый свет, но тепловая энергия передается через эти частицы также без рассеяния и практически без поглощения, в отличие от стандартных видеокамер.

Целесообразно использовать ИК-детекторы для обнаружения лесных пожаров. Одна камера видеонаблюдения способна контролировать лесной массив площадью 10 тысяч гектаров. Камеры снабжены также автоматическими детекторами дыма.

Разведывательный комплекс с БПЛА (беспилотный автоматический летательный аппарат) и ДПЛА (дистанционно пилотируемый летательный аппарат) реализует свое функциональное предназначение в автоматическом режиме в соответствии с заложенными в него алгоритмом и программами функционирования (крылатые ракеты, самолеты-разведчики и т.п.). Непрерывное управление им осуществляется тем или иным способом с неподвижного или подвижного пункта управления (кордовая модель самолета, летающая модель самолета с радиоуправлением и т.п.) устанавливается комплект видеонаблюдения и комплект тепловизионных камер. Одновременное размещение систем видеонаблюдения и ИК-детекторов позволит получать информацию в режиме реального времени о пожароопасной обстановке в радиусе 50-500 км, в зависимости от разведывательного комплекса. Благодаря совмещению двух систем наблюдения можно получить информацию о мелких возгораниях их местонахождении и произвести оценку развития пожара. Комплекс управляется как мобильно (оборудование для наблюдения и управления ДПЛА можно разместить на базе автомобиля ГАЗ 27057), так и стационарно.

Таким образом, тепловизионный способ ведения разведки на пожаре и поиска возгораний позволяет:

- быстро выявлять место возгорания;
- оперативно реагировать на пожароопасную ситуацию и начинать тушение пожаров еще на ранних стадиях возгорания;
- избегать расходов на ГСМ, в отличие от разведки с использованием авиации.
- избегать ошибок, связанных с излучением от встречных предметов (зеркала, осколки стекла), в отличие от разведки с использованием геостационарного спутника или зонда.

#### **Литература**

1. Шнайдер А.В., Миронов М.П., Марков В.Ф., Маскаева Л.Н. Быстродействующие фотодетекторы ИК-диапазона на основе плёнок сульфида свинца, допированных бромом // Безопасность критических инфраструктур. Материалы II Всероссийской научно-технической конференции. – Екатеринбург: УрО РАН, 2008 – 248-249.

2. Певцов Е., Чернокожин В. Матричные ИК-приемники для малогабаритных тепловизионных камер // Электронные компоненты, 2001. – № 1–2.

### **Тушение пожаров и спасение людей в зданиях повышенной этажности**

*Е.В. Гайнуллина, Д.И. Жириков, Уральский институт  
ГПС МЧС России*

Высотное строительство в России находится на стадии развития. Высотные здания (более 75 м) становятся особенностью современного силуэта крупных городов, придавая масштабность и привлекательность архитектурному облику. Однако, в силу своей специфики, они имеют большую степень потенциальной пожарной опасности в сравнении со зданиями нормальной этажности. Для них характерны быстрое развитие пожара по вертикали и большая сложность обеспечения эвакуации и спасательных работ. Продукты горения заполняют эвакуационные выходы, лифтовые шахты, лестничные клетки. Скорость распространения дыма и ядовитых газов по вертикали может достигать нескольких десятков метров в минуту. За считанные минуты здание оказывается полностью задымлено, а нахождение людей в помещениях без средств защиты органов дыхания невозможно. Наиболее интенсивно происходит задымление верхних этажей, где разведка пожара, спасение людей и подача средств тушения весьма затруднены. Помимо того, при пожаре часто выходит из строя лифтовое оборудование и системы противопожарной защиты.

Нормативная база в этой области формируется, главным образом, на основе универсальных нормативных документов, а также местных норм пожарной безопасности. Одним из важнейших критериев живучести многофункционального высотного здания является способность его собственной системы комплексной безопасности противодействовать опасным факторам пожара и последствиям от него. Именно в результате пожара и действий по борьбе с ним выявляются все недостатки и достоинства нормативной и проектно-расчетной базы, реализованной при возведении многофункционального высотного здания, а также эффективность альтернативных (компенсирующих) мероприятий.

Основные причины трагических последствий при пожарах в высотных зданиях – блокирование путей эвакуации продуктами горения и огнем вызываются следующими факторами: низкая огнестойкость строительных конструкций и инженерного оборудования, особенно металлических балок и ферм; наличие больших внутренних объемов, не разделенных противопожарными преградами; небольшое количество лестничных клеток и небольшая ширина лестниц для эвакуации; наличие многочисленных проходов в стенах и перекрытиях для кондиционирования, электрооборудования и других технологических

нужд; отсутствие эвакуационных планов при авариях и пожарах; устройство подвесных потолков; большое количество сгораемого оборудования, мебели, облицовки.

Меры по ограничению распространения пожаров в высотных зданиях заключаются в устройстве противопожарных преград – технических решений, предназначенных для предотвращения распространения пожара и продуктов горения из помещения или пожарного отсека с очагом пожара в другие помещения (противопожарных стен, перегородок, перекрытий, клапанов, зон и т.д.). При решении ряда архитектурно-планировочных задач при проектировании высотных зданий допускается вместо противопожарных стен устраивать противопожарные преграды в виде водяных завес – дренчерных или спринклерных. При срабатывании таких систем происходит истечение огнетушащего вещества в двух параллельных плоскостях. Эквивалент противопожарной преграды – водяные завесы в двух плоскостях, расположенных друг от друга на расстоянии 0,5 м с интенсивностью орошения не менее 1 л/с на 1 м завесы при времени работы не менее 1 часа. Кроме того, могут использоваться автоматические установки пожаротушения, одновременно выполняющие функции автоматической пожарной сигнализации.

Однако водяное пожаротушение часто недостаточно эффективно. Водой уничтожаются нижележащие этажи, имущество, оборудование, техника, приводится в негодное состояние здание, особенно при тушении пожаров в зимнее время. Но самый главный недостаток водяного пожаротушения заключается в том, что тех 10% воды, которые фактически участвуют в тушении пожара, недостаточно для создания требуемой интенсивности пожаротушения на этаже, охваченном огнем. Сосредоточение необходимого количества воды и пенообразователя, при наличии насосных станций, способно резко сократить время локализации и даже ликвидации пожара до прибытия основных сил и средств. Например, НПО "Современные пожарные технологии" (ЗАО НПО "СОПОТ") разработан, изготовлен и испытан автономный пожарный модуль контейнерного типа (АПМКТ), который отличается от существующих автоматических систем тем, что в его составе используется установки "ПУРГА", обеспечивающие повышенную дальность подачи комбинированных струй пены низкой и средней кратности, а также распыленной воды. В результате применения установки были получены струи воздушно-механической пены кратностью 50 и дальностью подачи до 50 м; при этом слоем пены толщиной 0,3-0,5 м, который держался в течение 2-3 часов, в течение нескольких секунд была покрыта площадь 1000 м<sup>2</sup>. Также в течение 1–1,5 мин был ликвидирован имитированный пожар здания на площади более 100 м<sup>2</sup>. Натурные испытания АПМКТ доказали возможность оперативного реагирования на возникающие в высотных зданиях пожары силами как строителей, так и персонала

организаций, эксплуатирующих здание.

Спасение людей из высотных зданий может осуществляться самостоятельно, с помощью пожарных подразделений или специально обученного персонала, с использованием спасательных средств через эвакуационные или аварийные выходы. На стадии проектирования высотных зданий должна быть также рассмотрена возможность использования вертолетов для спасения людей. Вертолетные системы пожаротушения типа КА-32А и МИ-26 также могут использоваться для эффективного тушения пожаров. Практические исследования подтверждают, что при проектировании высотных зданий главенствующую роль играет оценка риска или анализ возможных угроз безопасности. В современном строительстве разработана и успешно применяется многоуровневая система противопожарной защиты высотных зданий, включающая 15 элементов защиты. Весь этот комплекс мер направлен на обеспечение безопасности людей. Однако ужесточение требований норм пожарной безопасности и их выполнение не всегда обеспечивают реальную безопасность людей при возникновении пожаров. При разработке концепции пожаротушения высотного здания необходимо предусматривать не столько высокую огнестойкость конструкций и длительность пожаротушения, сколько быстроту ликвидации горения при одновременном повышении коэффициента полезного действия огнетушащих средств. Применение вертолетных систем и современных установок водопенного пожаротушения позволяет обеспечить эффективное тушение пожара и значительно сократить размер материального ущерба.

#### Литература

1. Куприн Г.Н. Анализ некоторых проектных решений и норм противопожарной защиты многофункциональных высотных зданий // Пожарная безопасность в строительстве – № 8, 2010. – С. 56–61
2. Ройтман В.И. Обеспечение безопасности людей при пожаре в высотных зданиях // Алгоритм Безопасности – № 4, 2006. – С. 41-47.
3. Воробьев Ю.Л. Тенденции обеспечения безопасности людей в современных мегаполисах // Пожарная безопасность многофункциональных и высотных зданий и сооружений. Материалы XIX науч.-практ. конф. Ч. 3. – М.: ВНИИПО, 2005. – С. 3–17.

## Анализ использования различных видов теплоемкостей в термодинамических расчетах процесса горения

*Н.Ю. Добрынина, Е.В. Самофеев, Уральский институт ГПС МЧС России*

В дисциплинах естественнонаучного цикла [1, 2, 3], преподаваемых на кафедре химии и процессов горения, для расчетов температур горения часто используют средние теплоемкости: удельные, молярные, объемные. В справочнике [4] приводятся истинные теплоемкости при стандартной температуре.

Целью работы является выяснение, как связаны между собой разные виды теплоемкости; как по имеющимся справочным данным рассчитать средние величины молярной (или удельной) теплоемкости для веществ органической и неорганической природы.

Предполагается, что основной агент, поглощающий тепло в результате реакции горения, - это продукты горения. При их нагреве от температуры  $T_1$  до  $T_2$  поглощается тепло, равное:

$$Q = \bar{C}_M \cdot n \cdot (T_2 - T_1) = \bar{C}_{уд} \cdot m \cdot (T_2 - T_1),$$

где  $\bar{C}_M$  и  $\bar{C}_{уд}$  – соответственно молярная и удельная средние теплоемкости веществ,  $n=m/M$  – количество молей вещества,  $m$  – масса вещества.

Значит, молярная и удельная теплоемкости связаны между собой:

$$\bar{C}_M = \bar{C}_{уд} \cdot M,$$

где  $M$  – молярная масса.

Средняя удельная теплоемкость связана со средней объемной теплоемкостью:

$$\bar{C}_{уд} = \frac{\bar{C}}{m} = \frac{\bar{C}}{V \cdot \rho} = \frac{\bar{C}_{об}}{\rho}.$$

В расчетах для газов было бы удобно использовать среднюю объемную теплоемкость, но поскольку в формулу входит плотность, то для этого необходимо иметь дополнительные данные  $\rho=f(T)$ :

$$\bar{C}_{об} = \bar{C}_{уд} \cdot \rho.$$

Таким образом, в расчетах чаще всего используют среднюю молярную теплоемкость, которая может быть найдена по формуле

$$\bar{C}_M = \frac{1}{(T_2 - T_1)} \int_{T_1}^{T_2} C_p dT,$$

для органических веществ истинная теплоемкость определяется формулой

$$C_p = a_i + b_i \cdot T + c_i \cdot T^2. \quad (1)$$

После подстановки в формулу средняя мольная теплоемкость органических веществ равна:

$$\bar{C}_M = \frac{1}{(T_2 - T_1)} \int_{T_1}^{T_2} (a_i + b_i \cdot T + c_i \cdot T^2) dT = \frac{a_i(T_2 - T_1) + \frac{b_i}{2}(T_2^2 - T_1^2) + \frac{c_i}{3}(T_2^3 - T_1^3)}{(T_2 - T_1)},$$

$$\bar{C}_M = a_i + \frac{b_i}{2}(T_2 + T_1) + \frac{c_i}{3}(T_2^2 + T_1 \cdot T_2 + T_1^2). \quad (2)$$

Для неорганических веществ истинная теплоемкость определяется формулой:

$$C_p = a_i + b_i \cdot T + c_i' \cdot T^{-2}. \quad (3)$$

Поэтому, средняя мольная теплоемкость неорганического вещества равна:

$$\bar{C}_M = \frac{1}{(T_2 - T_1)} \int_{T_1}^{T_2} (a_i + b_i \cdot T + c_i' \cdot T^{-2}) dT = \frac{a_i(T_2 - T_1) + \frac{b_i}{2}(T_2^2 - T_1^2) + c_i'(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2})}{(T_2 - T_1)},$$

$$\bar{C}_M = a_i + \frac{b_i}{2}(T_2 + T_1) + \frac{c_i'}{T_1 \cdot T_2}. \quad (4)$$

Результаты расчетов истинных мольных теплоемкостей газов по формулам (1) и (3) приведены в таблице 1.

Таблица 1

Т, К	$C_{p, O_2}$ ,	$C_{p, N_2}$ ,	$C_{p, H_2O}$ ,	$C_{p, CO_2}$ ,	$C_{p, CH_4}$ ,
	Дж/(моль · К)	Дж/(моль · К)	Дж/(моль · К)	Дж/(моль · К)	Дж/(моль · К)
	Температурный интервал, К				
	298-3000	298-2500	298-2500	298-2500	298-1500
298	28,22	29,15	33,56	37,22	35,02
500	31,65	30,02	35,49	45,24	47,29
700	33,06	30,87	37,56	48,73	58,04
900	34,05	31,72	39,68	51,22	67,40
1100	34,88	32,58	41,81	53,38	75,36
1300	35,64	33,43	43,94	55,39	81,92
1500	36,38	34,29	46,08	57,32	87,09
1700	37,09	35,14	48,22	59,21	-
1900	37,80	35,99	50,36	61,08	-
2100	38,49	36,85	52,50	62,93	-
2300	39,19	37,70	54,64	64,77	-
2500	39,87	38,56	56,78	66,60	-
2700	40,56	-	-	-	-
2900	41,25	-	-	-	-

3000	41,59	-	-	-	-
------	-------	---	---	---	---

Из таблицы 1 видим, что температурный интервал, в котором могут быть рассчитаны истинные значения теплоемкостей неорганических веществ значительно выше (у кислорода 3000 К), чем для органических (не превышает 1500 К). Средние значения теплоемкостей обычно используются при расчете тепловых эффектов реакций горения при заданных температурах.

При расчете теплового эффекта реакции горения метана необходимо использовать средние теплоемкости в интервале 298–1500 К. Средние теплоемкости, рассчитанные по формулам (2) и (4) приведены в таблице 2.

Таблица 2

Средние молярные изобарные теплоемкости газов в интервале 298-1500 К

$\bar{C}_M$ , кДж/(моль·К)	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
	33,66	31,72	39,70	50,36	65, 25

### Литература

1. Рабочая программа учебной дисциплины «Теоретические аспекты возникновения горения» по специальности 280705 Пожарная безопасность. Екатеринбург: ФГБОУ ВПО Уральский институт ГПС МЧС России, 2012. – 19 с.
2. Рабочая программа учебной дисциплины «Теория горения и взрыва» по направлению подготовки 280700 Техносферная безопасность. Екатеринбург: ФГБОУ ВПО Уральский институт ГПС МЧС России, 2012. – 23 с.
3. Рабочая программа учебной дисциплины «Физико-химические основы развития и тушения пожаров» по направлению подготовки 280104.65 Пожарная безопасность. Екатеринбург: ФГБОУ ВПО Уральский институт ГПС МЧС России, 2012. – 29 с.
4. Краткий справочник физико-химических величин. Изд. 10-е, испр. И дополн. / Под ред. А.А. Равделя и А.М. Пономаревой – СПб.: «Иван Федоров», 2002. – 240 с.

## Применение азотных установок для борьбы с огнем

*Е.В. Гайнуллина, А.В. Ситник, Д.С. Боярских,*  
Уральский институт ГПС МЧС России

Азотные системы пожаротушения считаются одними из наиболее эффективных средств тушения пожаров на объектах нефтегазового комплекса, химических и нефтехимических предприятиях. Эти установки способны быстро ликвидировать пожар в помещении путем подачи в него молекулярного азота. Установки азотного пожаротушения производятся на основе мембранной технологии последнего поколения. Азот, в отличие от

жидкости, пены или порошка, легко проникает в самые недоступные участки, а после того как пожар потушен – просто выветривается. При тушении пожара жидкостью, пеной, порошком остаются следы тушения. Например, оставшаяся жидкость требует времени и средств на удаление, может привести к коррозии и порче оборудования. А в случае тушения пожара азотом помещение (объем) готово к эксплуатации после проветривания, материальные ценности остаются невредимы. В некоторых ситуациях при использовании традиционных средств пожаротушения (например, пожар в угольной шахте потушен – шахта залита водой) восстановление производства и вовсе невозможно. Здесь азот является вообще единственным разумным средством тушения и предотвращения пожаров.

Принцип действия установок азотного пожаротушения заключается в создании в помещении среды с пониженным содержанием кислорода – менее 10%, поскольку в такой среде процесс горения подавляющего большинства веществ становится невозможным.

В нефтегазовом комплексе установки азотного пожаротушения применяются для создания инертной среды с целью обеспечения взрыво- и пожаробезопасности в технологических резервуарах, во время загрузочно-разгрузочных работ, перед проведением ремонта оборудования, а также непосредственно для тушения пожаров. Помимо этого установки могут использоваться для испытания, продувки трубопроводов, очистки технологических емкостей и т.д.

В таких отраслях промышленности, как химия, нефтехимия и лакокрасочная промышленность, установки азотного пожаротушения эффективно применяются для создания инертной среды в резервуарах, содержащих пожароопасные вещества или вещества, реагирующие с кислородом. При возникновении пожара инертная смесь автоматически подается в объем, где произошло возгорание, и процесс горения прекращается.

Передвижные станции азотного пожаротушения позволяют эффективно бороться с пожарами в шахтах, обеспечивая надежное объемное тушение труднодоступных очагов. Азотные системы позволяют всего за несколько часов создать в аварийном участке шахты инертную атмосферу на основе азота, в которой процесс горения полностью прекращается.

Использование традиционных водяных и пенных систем пожаротушения недопустимо в музеях, галереях, выставочных залах, архивах, библиотеках, хранилищах банков, помещениях с дорогостоящей электронной техникой. Установки азотного пожаротушения обеспечивают быстрое объемное тушение пожара. При использовании установок азотного пожаротушения, в отличие от традиционных систем, не наносится вред хранящимся в помещении ценностям.

В ходе работы установок в помещении резко снижается концентрация кислорода – до 10%. При таком содержании кислорода процесс горения становится невозможным. Азотные системы пожаротушения находятся либо в постоянном активном состоянии и таким образом закачивают в целевое помещение азот и регулируют концентрацию в нем кислорода на безопасном уровне для здоровья людей, либо их работу активирует пожарная сигнализация, установленная на охраняемом объекте.

Безусловным преимуществом использования азотных установок пожаротушения является то, что в результате тушения персонал не подвергается опасности и обеспечивается полная сохранность материальных ценностей. Как только азот из ресивера был использован для тушения очага пожара, установка немедленно начинает его пополнение. Азот производится установкой из атмосферного воздуха, в результате эксплуатационные затраты оказываются очень незначительными. Окружающая среда при этом не загрязняется продуктами тушения.

Азотная установка пожаротушения может использоваться для поддержания постоянного состава атмосферы с определенной допустимой концентрацией кислорода в помещении или резервуаре. Использование установок азотного пожаротушения для таких задач позволяет гарантировать практически полную пожаро- и взрывобезопасность объектов за счёт флегматизации горючей среды (табл. 1). Кроме того, производимый установкой азот может быть использован для продувки технологических объемов, а также для других целей.

Таблица 1

Содержание кислорода в воздухе, при котором прекращается горение вещества

Вещество	Содержание O <sub>2</sub> , %	Вещество	Содержание O <sub>2</sub> , %
Ацетон	11.0	Метанол	10.0
Бензин	9.0	Метилацетат	8.0
Бензол	10.0	Пентан	9.0
Бутан	9.5	Пропан	9.0
Диметилбутан	9.5	Пропилен	9.0
Керосин	9.0	Природный газ	9.5
Метан	9.5	Этан	9.0

Установка азотного пожаротушения может быть выполнена в контейнерном варианте на базе салазок или шасси. При возникновении пожара азот из ресивера автоматически подается в помещение или технологическую емкость, где произошло возгорание. Установки очень просты в эксплуатации и не требуют обслуживания. Пожаротушение и последующее заполнение ресивера азотом происходит без непосредственного участия человека. В случае использования азота для пожаротушения или технологических нужд установка восполняет запасы

азота из воздуха.

Примером может служить передвижная станция азотного пожаротушения ТГА-25/20 компании «Тегас». Важная область применения установки – **тушение подземных пожаров**. Кроме того, станция применяется для создания инертной среды в процессах газо- и нефтедобычи, горнодобывающем деле, при проверке емкостей, трубопроводов и т.д., а также как воздушный компрессор (производительность – до 38 м<sup>3</sup>/мин, давление – до 35 атм). Конструктивно азотная станция ТГА-25/20 – автономная компрессорная установка, смонтированная на шасси повышенной проходимости и закрытая от внешних воздействий металлическим капотом. Рабочая температура окружающего воздуха – от -60 до +45°С. Также широко применяются установки фирмы «Грасис», Nitrostation и др.

Установки азотного пожаротушения не только очень эффективны (способны тушить пожар за несколько секунд вне зависимости от удаленности очага возгорания), но также неприхотливы и надежны в эксплуатации. Эффективность пожаротушения не зависит от труднодоступности очага возгорания. Азот является экологически чистым газом, поэтому использование установок азотного пожаротушения не оказывает никакого вредного воздействия на окружающую среду. Во многих случаях они представляют собой единственный тип оборудования, применимый для тушения труднодоступных очагов пожара.

#### **Литература**

1. Козлюк А.И. Средства пожарной защиты шахт. Донецк – 1997. – 98 с.
2. Горная энциклопедия. — М.: Советская энциклопедия. Под редакцией Е. А. Козловского. - 2001. - 567 с.
3. Абрамов А.С., Мартенко Е.А., Любаков Е.А. Пожарная безопасность технологических процессов производств. Омск, 2009. – 503 с.

#### **Использование насыщенных фторуглеродов или полифторуглеводородов в тушении пожаров**

*Е.В. Гайнуллина, В.А. Юрин, Уральский институт ГПС МЧС России*

Для стационарных установок пожаротушения, которыми оборудуются помещения с оборудованием под напряжением или ценными чувствительными материалами, используются хладоны – насыщенные фторуглероды или полифторуглеводороды (часто содержат также атомы Cl, реже Br). Они представляют собой газы или летучие жидкости, нетоксичны, не образуют взрывоопасных смесей с воздухом, не реагируют

с большинством металлов. Хладоны широко распространены в различных отраслях промышленности: используются в производстве холодильников, кондиционеров, рефрижераторов, пенообразователей, распылителей и аэрозольных упаковок. Также они используются при производстве пенопластов и пенополиуретанов, являются реагентами для сухого травления при изготовлении интегральных схем. Некоторые хладоны применяют для синтеза фторомономеров и других органических продуктов. Многие хладоны используют в огнетушащих составах в качестве ингибиторов пламени и флегматизаторов горения углеводородов.

Ингибирование – замедление, снижение интенсивности горения вплоть до его прекращения посредством ингибиторов горения. Механизм ингибирования горения, т.е. снижения его интенсивности вплоть до полного прекращения путем введения веществ – ингибиторов горения, состоит в связывании активных центров, что приводит к обрыву цепной реакции горения.

Механизм ингибирования процесса горения хладами до конца не изучен. В настоящее время существуют две основные теории ингибирования горения: первая теория (радикальная) основана на том, что из зоны реакции изымаются атомы и радикалы, ответственные за развитие процесса горения и связываются с молекулами галогенуглеводородов или с их радикалами; в основе второй теории (ионной) лежит положение о том, что атомы галогена легко отрываются от молекулы галогенуглеводорода (хладона) и, имея большее сечение захвата электронов, чем кислород, тормозят горение, захватывая электроны, необходимые для активации кислорода [1-3].

Наиболее широкое распространение для тушения пожаров получили трифторбромметан (хладон 13B1), дифторхлорбромметан (хладон 12B1), дибромтетрафторэтан (хладон 114B2), дибромдифторметан (хладон 12B2).

Перспективность применения хладонов объясняется рядом их свойств. Так, хорошие диэлектрические свойства делают их пригодными для тушения пожаров электрооборудования, находящегося под напряжением. В результате высокой плотности хладоны в жидком и газообразном состоянии хорошо формируют струю, и капли хладона легко проникают в пламя. Низкая температура замерзания позволяет использовать их при минусовых температурах, а хорошая смачивающая способность – тушить тлеющие материалы [2-3].

Системы газового пожаротушения с применением хладонов имеют широкое распространение среди объектов, на которых не желательно воздействие воды и других водосодержащих компонентов, применяемых при тушении пожара. Газовое пожаротушение минимизирует ущерб при возгорании объекта. Хладоны применяют для объемного тушения (стационарные и полустационарные установки), для поверхностного тушения небольших очагов пожаров (огнетушители) и для

предупреждения образования взрывоопасной среды. Используют хладоны и для защиты особо опасных цехов химических производств, сушилок, окрасочных камер, складов с горючими жидкостями и т.д. К особенностям использования хладонов относится не только скорость тушения, но и возможность предупреждения и подавления взрывов парогазовоздушной смеси. Их не рекомендуется применять для тушения металлов, ряда металлоорганических соединений, гидридов металлов, а также материалов, содержащих в своем составе кислород. Последними разработками в области ингибирования горения являются хладоны HFC 227ea и 125, а также хладон «Fe-36» производства компании Dupont [2].

Газовое пожаротушение при помощи вещества HFC 227ea востребовано в местах, где при пожаре первостепенное значение отдается сохранению материальных ценностей. Предметы искусства, архивные документы, электронные устройства – все, что может быть повреждено водой, пеной или агрессивными химическими веществами, остается в целости и невредимости, если при тушении используется хладон HFC 227ea. Он малотоксичен для человека – вдыхание паров хладона в течение нескольких минут не приведет к нарушению жизнедеятельности. К тому же, поскольку HFC 227ea не вытесняет кислород (как делают сжатые газы, разбавляющие атмосферу), он не приведет к удушью находящихся в помещении людей. Это особенно важно потому, что хладон 227ea не имеет ни цвета, ни запаха, по которым человек мог бы мгновенно определить наличие газа в помещении.

Хладон 125 эффективен в той же степени, что и хладон 227ea. Так же, как и хладон 227ea, хладон 125 не портит документы и чувствительную электронику и поэтому активно используется там, где необходимо бережное отношение к находящимся внутри помещения предметам. К его преимуществам относят отличную способность тушить тлеющие материалы, однако по причине токсичности его нельзя применять в помещениях, где постоянно находятся люди.

Хладон «Fe-36» не проводит электрический ток, не вызывает коррозии, по токсическим показателям безопасен для человека и окружающей среды и обладает высокой огнетушащей эффективностью. Температурный диапазон эксплуатации: от -20 до +50 °C

Ни один тип хладона (в том числе хладон 227ea и хладон 125) не проводит электричества, это вещество химически инертно и не вызывает коррозии, благодаря чему его относят к разряду «чистых газов». Хладон 125 и хладон 227ea предназначены для ликвидации самых разных пожаров: классов А, В, С и Е в начальной стадии развития (электроустановки под напряжением до 110 кВ). Хладоны имеют относительно низкое давление хранения, благодаря чему их легко перевозить и складировать.

Хладоновые огнетушители предназначены для ликвидации пожаров классов В, С, Е в начальной стадии развития. Хладоновые огнетушители

имеют безусловные преимущества для защиты дорогостоящего оборудования или невозстановливаемых ресурсов, которые могут быть повреждены или разрушены водой, пеной, углекислым газом или другими огнетушащими составами. Хладоновые огнетушители предназначены для тушения возгораний электроустановок, находящихся под напряжением до 110 кВ с расстояния не менее 1 м при условии соблюдения мер безопасности.

Однако хладоны как средство тушения пожаров не лишены и недостатков, таких как вредное воздействие на организм человека. При этом сами хладоны слабые наркотические яды, а особую опасность представляют продукты их термического разложения, обладающие высокой токсичностью. Хладонам свойственна высокая коррозионная активность.

Таким образом, разработка и применение газовых огнетушащих составов на основе насыщенных фторуглеродов или полифторуглеводородов в стационарных установках пожаротушения и огнетушителях является перспективным направлением, обеспечивающим эффективное тушение при минимальном негативном влиянии на человека, материалы и окружающую среду.

#### **Литература**

1. Семенов Н.Н. Горение и взрыв. М.: Наука. Избр. Тр. в четырех томах. Т.2. — 2005. — 704 с.
2. Karlsson Björn, Quintiere James G. Enclosure Fire Dynamics. Boca Raton-London-New York- Washington. 2000. 315 p.
3. Friedman R. Principles of Fire Protection Chemistry and Physics. Third Edition. National Fire Protection. Quincy, Massachusetts. 1998. 295 p.

#### **Оценка устойчивости объекта к тепловому воздействию при горении «огненного шара»**

*Л.А. Брусницына, Т.А. Алексеева*, Уральский институт ГПС МЧС России

*А.В. Тармашев*, Уральский Федеральный университет имени Б.Н. Ельцина

Крупномасштабное диффузионное горение паровоздушного облака, реализуемое при разгерметизации резервуара с горючей жидкостью или газом под давлением, носит название «огненный шар».

Целью прогнозирования и оценки устойчивости объекта к тепловому воздействию является определение последствий горения паровоздушного

облака, возникающего за счет интенсивного испарения разлившегося бензина, при котором возникает мгновенно сгорающий «огненный шар», обладающий очень высокой теплоотдачей.

Прогнозирование проводилось согласно методикам, приведенным в [1–3]. Для прогнозирования последствий горения паровоздушного облака использовались детерминированный и вероятностный методы. Поражающим фактором при горении является термическое воздействие, которое количественно выражается плотностью падающего теплового потока ( $q^{nad}$ , кВт/м<sup>2</sup>). Детерминированный метод основан на определении безопасной зоны для человека, которой соответствует  $q^{nad} = 4$  кВт/м<sup>2</sup>. При вероятностном методе прогнозирования рассчитывается значение «пробит-функции» (Pr), исходя из значений которой, определяется вероятность термического поражения.

*Исходные данные для расчета.* Бензин хранится в резервуаре объемом 2000 м<sup>3</sup>, температура воздуха  $t_a = 30$  °С (303 К), молекулярная масса бензина  $M = 94$  кг/кмоль, скрытая теплота испарения  $L_{исп} = 287300$  Дж/кг, температура кипения  $T_{кип} = 413$  °К.

Геометрические размеры образовавшегося «огненного шара» определяются массой легколетучей жидкости, перешедшей в парообразное состояние. Масса паров рассчитывалась с учетом скрытой теплоты испарения, молекулярной массы бензина, температуры кипения бензина и температуры окружающей среды. Расчет интенсивности испарения бензина проводился исходя из давления насыщенных паров бензина и времени испарения.

В результате проведенных расчетов определены основные характеристики процесса, геометрические размеры «огненного шара», границы безопасной зоны и вероятность гибели людей на разных расстояниях от центра горения.

Значения плотности теплового потока падающего излучения на разных расстояниях от центра «огненного шара» приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения плотности теплового потока падающего излучения на разных расстояниях от центра «огненного шара»

X, м	25	50	75	100
$q^{nad}$ , кВт/м <sup>2</sup>	21,2	9,71	4,85	2,49

Характеристики горения «огненного шара» при авариях в резервуаре для хранения бензина емкостью 2000 м<sup>3</sup> представлены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики горения «огненного шара» при авариях в резервуаре для хранения бензина емкостью 2000 м<sup>3</sup>

Объем резервуара $V_{рез}$ , м <sup>3</sup>	Масса паров бензина,	Диаметр огненного шара, м	Высота центра огненного	Время горения огненного	Безопасное расстояние, м
---	----------------------	---------------------------	-------------------------	-------------------------	--------------------------

	$m_{п,исп}$ , кг		шара, м	шара, С	
2000	941	50	25	7,3	100

Как видно из приведенных результатов, безопасное расстояние для человека от центра, при котором плотность падающего теплового потока меньше  $4,0 \text{ кВт/м}^2$ , составляет 100 м.

Значения величины плотности теплового потока ( $q^{nad}$ , кВт/м<sup>2</sup>), «пробит-функции» (Pr) и вероятности летального поражения людей (Р,%) на разных расстояниях от очага горения представлены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристики плотности теплового потока и вероятности летального поражения людей при горении «огненного шара»

Расстояние до центра горения, м	$V_{рез}=2000 \text{ м}^3$		
	$q^{nad}$ , кВт/м <sup>2</sup>	Pr	Р, %
25	21,2	9,13	100
50	9,71	6,47	93
75	4,85	4,11	19
100	2,49	1,85	0

Анализируя данные табл. 1 и табл. 3, можно сделать вывод о том, что детерминированный и вероятностный методы дают сопоставимые результаты. В том и другом случае внешняя граница безопасной зоны составляет 100 м.

### Литература

1. ГОСТ Р 12.3.047-98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
2. Прогнозирование и оценка обстановки при чрезвычайных ситуациях: учеб. пособие / Л.А.Брусницына. – Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2010. – 143 с.
3. Мاستрюков Б.С. Опасные ситуации техногенного характера и защита от них: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / Б.С. Мастрюков. –М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 320 с.

### Физико-химические основы прогнозирования последствий пожаров разлива

Л.А. Брусницына, Т.А. Алексеева, И.А. Зуйков,  
Уральский институт ГПС МЧС России

Целью прогнозирования при возникновении пожара разлива является определение размеров безопасной зоны для персонала и определение вероятности летального поражения людей на разных

расстояниях от очага горения. Прогнозирование проводилось согласно методикам, приведенным в [1–2].

Основным поражающим фактором пожара разлива является плотность теплового потока  $q^{над}$  (кВт/м<sup>2</sup>), которая, в свою очередь, определяется величиной средней по поверхности плотностью потока собственного излучения пламени  $q^{соб}$  (кВт/м<sup>2</sup>) горючего материала.

Вероятность термического воздействия определяется геометрическими параметрами факела пожара разлива, размеры которого зависят от количества горючего вещества, находящегося в парообразном состоянии и, следовательно, от массовой скорости выгорания  $m_{выг}$ , кг/(м · с). Расчет этой величины проводится с учетом физико-химических свойств горючего вещества по уравнению (1)

$$m_{n,исп} = W F_{исп} \tau_{исп} \quad (1)$$

где  $W$  – интенсивность испарения жидкости, кг/(м · с);  $F_{исп}$  – площадь испарения (разлива), м<sup>2</sup>, равная площади обвалования.

Согласно документу НПБ 107-97 при обосновании взрывопожарной опасности наружных установок для ненагретых легко воспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) используется формула

$$W = 1 \cdot 10^{-6} P_{нас} \sqrt{M}, \quad (2)$$

где  $P_{нас}$  – давление насыщенного пара, кПа, определяемое по формуле

$$P_{нас} = 101,3 \exp[L_{кип} \cdot M(T_{кип}^{-1} - T_{ос}^{-1})/R], \quad (3)$$

здесь  $L_{кип}$  – удельная теплота кипения, Дж/кг;  $T_{кип}$  – температура кипения жидкости, К;  $T_{ос}$  – температура окружающей среды, К;  $M$  – молярная масса жидкости, кг/моль.

Пламя пожара разлива при расчете представляется в виде наклоненного по направлению ветра цилиндра конечного размера, причем угол наклона  $\theta$  зависит от безразмерной скорости ветра  $W_g$ :

$$\cos \theta = 0,75 (W_g)^{-0,49}. \quad (4)$$

Геометрические параметры факела пожара разлива находятся по формуле Томаса:

$$\frac{L}{D} = \alpha \left( \frac{m_{выг}}{\rho_v \sqrt{gD}} \right)^b W_g^c, \quad (5)$$

где  $W_g = w(m_{выг} g D / \rho_n)^{1/3}$  – безразмерная скорость ветра;  $m_{выг}$  – массовая скорость выгорания, кг/(м · с);  $\rho_n$ ,  $\rho_v$  – соответственно плотность пара и воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;  $D$  – диаметр зеркала разлива, м;  $L$  – высота наклонного факела, м;  $w$  – скорость ветра, м/с.

Объектом исследования являлось предприятие, которое представляет собой базу для приема, хранения и отгрузки нефтепродуктов, основную массу которых представляют бензины различных марок.

*Исходные данные для прогнозирования.*

Объем резервуара – 5000 м<sup>3</sup>. Резервуар заполняется бензином на 80%.

Фактический объем бензина в резервуаре будет равен  $4000 \text{ м}^3$ .  
Скорость ветра равна  $3 \text{ м/с}$ . Температура окружающей среды  $20^\circ \text{С}$  ( $293 \text{ К}$ ).

В результате проведенных расчетов установлено, что диаметр зеркала разлива составляет  $96 \text{ м}$ , высота пламени пожара разлива  $72 \text{ м}$ , угол наклона пламени пожара разлива  $44^\circ$ .

Найдена плотность потока теплового излучения пламени пожара разлива, падающего на элементарную площадку на разных расстояниях от границы пламени. Данные расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1

Плотность потока теплового излучения пламени пожара разлива ( $q^{nad}$ ,  $\text{кВт/м}^2$ ) на разных расстояниях от границы пламени ( $R$ ,  $\text{м}$ )

$R$ , $\text{м}$	192	240	288	336	360	384	408	432
$q^{nad}$ , $\text{кВт/м}^2$	21	16	10	5,9	4,82	4,26	1,86	0,322

Из результатов расчетов следует, что безопасным для персонала будет расстояние от обвалования  $R = 400 \text{ м}$ , где плотность падающего теплового потока  $q^{nad}$  будет меньше  $4,0 \text{ кВт/м}^2$ :

Данные расчетов вероятности смертельного поражения человека тепловым излучением  $P_{nor}$  на разных расстояниях от границы пламени представлены в табл. 2.

Таблица 2

Вероятность смертельного поражения человека тепловым излучением ( $P_{nor}$ , %) на разных расстояниях от границы пламени ( $R$ ,  $\text{м}$ )

$R$ , $\text{м}$	192	240	288	336	360	384	408	432
$Pr$	12,14	11,22	9,62	7,82	7,13	6,71	3,82	2,07
$P_{nor}$ , %	100	100	100	99	98	95	12	0

Как видно из данных расчетов, радиус зоны безопасности (0% погибших) равен примерно  $430 \text{ м}$  от границ пламени.

Анализируя данные табл. 1 и табл. 2, можно сделать вывод о том, что детерминированный и вероятностный методы дают сопоставимые результаты. В том и другом случае внешняя граница безопасной зоны составляет приблизительно  $400 \text{ м}$ .

### Литература

1. ГОСТ Р 12.3.047-98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
2. Прогнозирование и оценка обстановки при чрезвычайных ситуациях: учеб. пособие / Л.А.Брусницына. - Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2010. — 143с.

**Материалы научно-практических конференций**

**5-6 декабря 2012 г**

Том 2

Редактор Т.В. Девятова

Подписано в печать 12.09.2013.

Тираж 100 экз.

Объем 6,15 учет.-изд.л. Бумага писчая  
Редакционно-издательский отдел  
Уральского института ГПС МЧС России  
Екатеринбург, ул. Мира, 22