

Лекция 1

ОЦЕНКА ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТИ СРЕДЫ ВНУТРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Требования нормативных документов по обеспечению пожарной безопасности технологических процессов

На основании статей 20 и 21 Федерального закона «О пожарной безопасности», принятого Государственной Думой РФ 18 ноября 1994 года, меры пожарной безопасности разрабатываются в соответствии с законодательством Российской Федерации, нормативными документами по пожарной безопасности, а также на основе опыта борьбы с пожарами и по результатам оценки пожарной опасности веществ и материалов, технологических процессов, изделий, конструкций, зданий и сооружений.

К нормативным документам по пожарной безопасности технологических процессов в первую очередь относятся ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования» и ГОСТ Р 12.3.047-98 «Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля».

В ГОСТ 12.1.004-91 в общем виде изложены требования по обеспечению пожарной безопасности объектов, а также принципы и направления, а в некоторых случаях и способы реализации этих требований. В ГОСТ Р 12.3.047-98 на федеральном уровне установлены требования пожарной безопасности к технологическим процессам различного назначения всех отраслей экономики страны и любых форм собственности при их проектировании, строительстве, реконструкции и эксплуатации, а также при разработке и изменении норм технологического проектирования и других нормативных документов, регламентирующих мероприятия по обеспечению пожарной безопасности на производственных объектах и при разработке технологических частей проектов и технологических регламентов. Здесь также изложены методики анализа и методы определения регламентированных параметров пожарной безопасности технологических процессов и приведена классификация производственных процессов в зависимости от уровня их пожарной опасности.

Классификационным признаком технологического процесса является так называемый *критерий аддитивности G*, который рассчитывают по формуле

$$G = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{m_{i \text{ пр}}},$$

(1.1)

где m_i - масса i -го опасного вещества; $m_{i \text{ пр}}$ - предельно допустимая масса i -го опасного вещества.

При $G \geq 1$ производственные процессы относят к *технологическим процессам повышенной опасности*, а при $G < 1$ - к технологическим процессам, отличным от процессов повышенной опасности, или просто к *технологическим процессам*. Принадлежность технологического процесса к тому или иному виду определяет критерии оценки его пожарной опасности.

Предельно допустимая масса пожароопасного вещества или материала, иначе называемая *пороговым количеством опасного вещества*, установлена в зависимости от его класса и категории (согласно ГОСТ 19433):

-для горючих сжатых, сжиженных и растворенных под давлением газов установлены следующие пороговые количества: ацетилена, водорода, сероводорода, оксида этилена - 50 т; аммиака - 500 т; всех остальных горючих газов - 200 т;

-для ЛВЖ и ГЖ пороговое количество составляет 200 т (за исключением оксида пропилена, для которого $m_{пр} = 50$ т);

-для твердых саморазлагающихся веществ - 10 т;

-для окисляющих веществ: жидкого кислорода - 2000 т; аммиачной селитры - 5000 т; хлора и окислов азота - 50 т и т. д.

Указанные выше количества опасных веществ относятся к одной технологической установке (одному хранилищу) или к группе указанных объектов, если расстояние между ними не превышает 500 м.

Анализ пожарной опасности технологических процессов повышенной опасности

При анализе пожарной опасности технологических процессов повышенной опасности необходимо определить:

-*индивидуальный риск R* (вероятность поражения человека, находящегося в определенной точке пространства от места аварии, опасными факторами пожара и взрыва, возникающими при аварии);

-*социальный риск S* (зависимость вероятности возникновения событий, состоящих в поражении определенного числа людей, подвергшихся воздействию опасных факторов пожара и взрыва, от числа этих людей).

Технологическая установка считается пожароопасной и ее эксплуатация недопустима, если индивидуальный риск $R > 1 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹ или социальный риск $S > 1 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹.

Анализ пожарной опасности технологического процесса повышенной опасности производят в следующей последовательности:

-разрабатывают и анализируют сценарии возможных вариантов аварий (в том числе крупной, проектной и максимальной);

-разрабатывают и анализируют логические схемы развития аварий;

-рассчитывают значения индивидуального и социального рисков и сравнивают их с нормативными величинами.

При $1 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹ $\geq R \geq 1 \cdot 10^{-8}$ год⁻¹ и $1 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹ $\geq S \geq 1 \cdot 10^{-7}$ год⁻¹ принимают все возможные и достаточные меры для уменьшения рисков и обосновывают принятый вариант обеспечения пожарной безопасности производства.

Для разработки мер, направленных на уменьшение рисков, выявляют факторы взрывопожарной опасности процесса (проводят анализ взрывопожарной опасности технологического процесса). При отсутствии необходимых для определения рисков данных допускается использование иных критериев (параметров) пожарной опасности технологических процессов. К таким параметрам, в частности, относятся:

- избыточное давление, развиваемое при сгорании газо- или паровоздушной смеси в помещении;

- размеры зон, ограниченных нижним концентрационным пределом распространения пламени газов и паров;

- тепловое излучение пожара пролива СУГ, ЛВЖ или ГЖ;

- размеры зон распространения облаков горючих паров и газов при аварии;

- тепловое излучение «огненного шара»;

- параметры волн давления при сгорании газо- или паровоздушных смесей в открытом пространстве и ряд других критериев.

Найденные численные значения параметров сопоставляют с предельно допустимыми (регламентированными) значениями, установленными требованиями действующих нормативных документов. При необходимости предлагают и разрабатывают профилактические и защитные мероприятия, позволяющие снизить опасные значения параметров до нормативного уровня.

Анализ пожарной опасности технологических процессов, отличных от процессов повышенной опасности

Выявление критериев (параметров) пожарной опасности технологических процессов (независимо от уровня их пожарной опасности) осуществляется в следующей последовательности:

- определяют факторы, характеризующие взрывопожарную и пожарную опасность технологического процесса;

- производят количественную оценку выявленных факторов;

- сопоставляют численные значения факторов с предельно допустимыми (регламентированными) значениями, установленными требованиями действующих нормативных документов;

- разрабатывают (при необходимости) способы и технические решения, направленные на предотвращение появления опасных факторов или защиту от них.

Используя методику анализа взрывопожарной опасности технологического процесса:

- изучают технологию производства, устройство и работу оборудования, а также его размещение;

- устанавливают горючие вещества и материалы, обращающиеся в процессе, определяют их количество и пожаровзрывоопасные свойства;

- определяют оборудование, участки или места, в которых находятся горючие вещества, материалы или сильные окислители, а также возможность образования газо-, паро- или пылевоздушных смесей;

-анализируют возможность образования горючих смесей внутри технологического оборудования в различные периоды его работы;

-анализируют возможность образования взрывоопасных зон в производственных помещениях и на наружных установках в различные периоды работы технологического оборудования;

-анализируют причины, приводящие к выходу горючих веществ и материалов из технологического оборудования;

-анализируют возможность образования в горючей среде источников зажигания;

-анализируют причины и условия, способствующие развитию начавшегося пожара, а также пути распространения огня и раскаленных продуктов горения;

-разрабатывают и анализируют сценарии возможных аварий и выбирают проектную аварию;

-обосновывают расчетами категории помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности;

-предлагают и обосновывают расчетами способы обеспечения пожарной безопасности технологического процесса, а также конкретные технические решения и организационные мероприятия, направленные на снижение его взрывопожарной опасности до нормативного уровня.

В целях обеспечения объективности при проведении анализа не учитывают имеющиеся в проекте или на действующем производстве системы обеспечения пожарной безопасности. Сравнение требуемых по результатам анализа противопожарных мероприятий с решениями, принятыми в производственно-технической документации, позволяет обоснованно дополнить их необходимыми мерами по защите производства и отказаться от тех мероприятий, использование которых ничем не обосновано.

Основой для анализа пожарной опасности технологического процесса служит следующая проектная или производственная документация:

-генеральный или ситуационный план производственного объекта;

-технологический регламент производства или расчетно-пояснительная записка к технологической части проекта;

-общие виды и разрезы основного технологического оборудования;

-планы размещения основного технологического оборудования в производственных помещениях или на открытых площадках.

Общее условие образования взрывоопасных концентраций в технологических аппаратах

В большинстве случаев при исследовании пожаровзрывоопасности технологических процессов нет необходимости учитывать конструктивные особенности аппаратов, а достаточно знать степень их герметизации. На основе этого показателя все многообразие технологических аппаратов может быть сведено к следующим трем типам:

-открытые аппараты;

-«дышащие» аппараты;

-герметичные аппараты.

Принципиальная схема *открытого аппарата* приведена на рис. 1.1. Обычно это достаточно простой по конструкции аппарат емкостного типа, в некоторых случаях оборудованный теплообменниками, смесителями и другими устройствами. Примерами открытых аппаратов служат различные ванны (промывочные, окрасочные, закалочные и др.), смесители, нутч-фильтры, а также аппараты периодического действия, открываемые для загрузки и выгрузки продукции. Открытые аппараты могут оснащаться съемными крышками, которыми их закрывают на время простоя или проведения каких-либо технологических операций.



Рис. 1.1. Схема открытого аппарата:

1 - подводящая линия; 2 - задвижки; 3 - корпус аппарата; 4 - отводящая линия.

«Дышащий» аппарат, или аппарат с дыхательным устройством, состоит из корпуса 3 и стационарно соединенной с ним крышей (крышкой) 5, в которой имеется отверстие с патрубком 6 для сообщения внутреннего пространства аппарата с атмосферой (рис. 1.2).

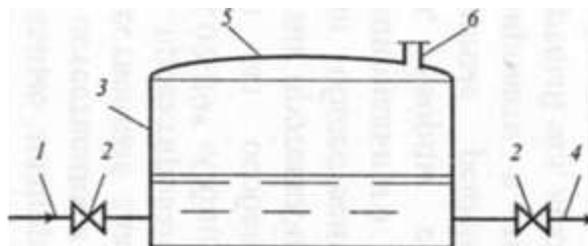


Рис. 1.2. Схема «дышащего» аппарата: 1-4 - см. рис. 1.1; 5 - крыша; 6 - дыхательный патрубок

Примерами таких аппаратов служат резервуары со стационарной крышей для хранения нефти и нефтепродуктов, мерники, напорные баки, бункеры для хранения зернистых и пылевидных материалов и т. п., аппараты с переменным уровнем находящихся в них продуктов. На дыхательных патрубках могут устанавливаться дыхательные клапаны, которые не препятствуют проведению операций наполнения-опорожнения, но обеспечивают герметизацию внутреннего пространства аппаратов в периоды их простоя.

Схема *герметичного аппарата* показана на рис. 1.3. Внутреннее пространство такого аппарата полностью изолировано от окружающей среды. Более того, имеющиеся в таких аппаратах разъемные соединения (фланцы, сальники и др.) имеют высокую степень герметизации, предотвращающую выход веществ наружу при работе аппаратов под высоким давлением или подсосывание воздуха внутрь при работе аппаратов под вакуумом. Примеры герметичных аппаратов: реакторы непрерывного действия, ректификационные

колонны, абсорберы и другие аппараты, а также насосы, компрессоры, напорные трубопроводы и другое технологическое оборудование. Такие аппараты часто оборудуют предохранительными клапанами или другими защитными устройствами, которые не влияют на герметичность аппаратов при нормальном режиме эксплуатации и срабатывают только при чрезмерном повышении в них давления.

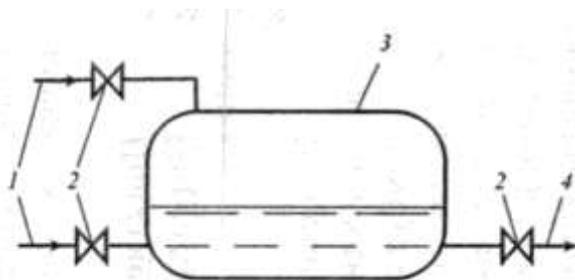


Рис. 1.3. Схема герметичного аппарата: 1-4-см. рис. 1.1

При выборе типа аппарата руководствуются в первую очередь агрегатным состоянием обращающихся в технологическом процессе веществ и материалов и их классом опасности (токсичностью, пожаровзрыво-опасностью). Горючие газы (ГГ), сжиженные газы (в том числе СУГ), перегретые пары пожароопасных жидкостей хранят и перерабатывают только в герметичных аппаратах. Однако горючие газы в определенных случаях могут выделяться из жидкостей и твердых материалов (в том числе и негорючих), находящихся в открытых и «дышащих» аппаратах. Горючие жидкости (ЛВЖ и ГЖ) и твердые горючие материалы (кусковые, зернистые, пылевидные или волокнистые) хранят и перерабатывают в аппаратах любых типов. Пожаровзрывоопасные токсичные вещества и материалы хранят и перерабатывают только в герметичном оборудовании.

Типы аппаратов, технологические параметры их работы, виды находящихся в аппаратах веществ и материалов определяют особенности образования в аппаратах взрывоопасных концентраций (ВОК) - смесей горючих газов, паров и пылей (волокон) с окислителями в определенных количественных соотношениях.

Общим условием образования ВОК независимо от вида горючего вещества, типа производственного аппарата и места образования горючей смеси является выражение

$$\varphi_H \leq \varphi_P \leq \varphi_B, \quad (1.2)$$

где φ_H и φ_B - соответственно нижний и верхний концентрационные пределы распространения пламени; φ_P - рабочая (фактическая) концентрация горючего вещества.



Рис. 1.4. Места образования горючих смесей:

ГГ - горючие газы; ЛВЖ - пары ЛВЖ и ГЖ; ГПВ - горючие пыли и волокна

На рис. 1.4 приведены статистические данные, характеризующие места образования горючих концентраций, а также виды участвующих в образовании ВОК горючих веществ и материалов. В большинстве случаев ВОК образуются в технологическом оборудовании, причем в образовании ВОК чаще участвуют пары ЛВЖ и горючие газы. С учетом этих сведений рассмотрим условия образования ВОК в аппаратах различного типа с разными видами горючих веществ и материалов, а также основные способы обеспечения взрывопожарной безопасности.

Анализ возможности образования ВОК в аппаратах с горючими газами и способы обеспечения пожарной безопасности

Горючие газы хранят или перерабатывают в герметичных аппаратах, часто работающих под повышенным давлением или под вакуумом. Внутри герметичных аппаратов с горючими газами (или перегретыми парами) ВОК образуются в том случае, если в них попадает воздух или по условиям ведения технологического процесса подается окислитель (кислород, воздух, хлор, окислы азота и др.) при выполнении соотношения (1.2).

Рабочую концентрацию горючего газа φ_p определяют по показаниям стационарных газоанализаторов, анализом отобранной пробы среды из аппарата в лаборатории или рассчитывают по формуле, используя данные материального баланса аппарата:

$$\varphi_p = \frac{V_r}{V_r + V_{ок}} = \frac{G_r}{G_r + G_{ок}}, \quad (1.3)$$

где V_r и $V_{ок}$ - объемы соответственно горючего газа и окислителя в аппарате, m^3 ; G_r и $G_{ок}$ - объемные расходы компонентов, m^3/c .

Значения φ_n и φ_v индивидуальных газов в воздухе при атмосферном давлении и температуре 25 °С приведены в справочнике «Пожаро-взрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения», а в других окислителях - в специальной литературе. При отсутствии данных, а также для индивидуальных газов, находящихся в аппаратах при условиях отличных от

стандартных, или для смесей горючих газов и паров значения φ_H и φ_B можно определить расчетом по специальным методикам или экспериментально.

Если в технологическом процессе используется только горючий газ, смесь горючих газов или смесь горючих газов с негорючими газами, то ВОК в аппаратах не образуется, так как в них отсутствует окислитель и условие опасности (1.2) не выполняется.

В связи с тем, что в реальных условиях производства используются не химически чистые индивидуальные газы, физико-химические свойства которых приводятся в справочниках, а технические продукты с различным содержанием основного компонента и примесей (в зависимости от сорта продукта), происходят колебания расходов компонентов (и как следствие, состава смеси) в допустимых технологическим регламентом пределах, а контрольно-измерительные приборы и газоанализаторы имеют погрешность измерения, то для определения безопасной концентрации горючего газа в смеси с окислителем вводится так называемый коэффициент безопасности, или коэффициент запаса надежности.

Взрывобезопасные условия эксплуатации аппаратов с горючими газами определяют из выражений:

$$\varphi_{P.H}^{\text{без}} \leq 0,9(\varphi_H - 0,0021) \quad (1.4)$$

или

$$\varphi_{P.B}^{\text{без}} \geq 1,1(\varphi_H + 0,0042), \quad (1.5)$$

где $\varphi_{P.H}^{\text{без}}$ и $\varphi_{P.B}^{\text{без}}$ - взрывобезопасные рабочие концентрации горючего газа (или перегретого пара) в аппарате, об. доли.

Основные способы обеспечения взрывобезопасной эксплуатации герметичных аппаратов с горючими газами.

1. Создание и поддержание взрывобезопасной концентрации горючего газа в смеси, для чего необходимо:

-использовать автоматические регуляторы расхода и давления горючего газа и окислителя;

-осуществлять автоматический контроль состава среды в аппарате с помощью стационарных газоанализаторов с сигнализацией об отклонениях от нормы;

-применять автоматическую блокировку отключения подачи одного из компонентов при прекращении подачи другого компонента с одновременным включением подачи в аппарат инертного газа.

2. Создание и поддержание безопасного давления в аппарате ниже предельно допустимого значения, при котором исключается распространение пламени по смеси (смесь становится взрывобезопасной).

Известно, что концентрационные пределы распространения пламени зависят от давления смеси: при повышении давления область распространения пламени расширяется, а при снижении давления ниже атмосферного - сужается. При некотором давлении значительно ниже атмосферного наступает состояние,

когда φ_H и φ_B становятся равными, что характеризует отсутствие области распространения пламени. Величину предельно допустимого давления определяют экспериментально, так как она зависит от физико-химических свойств горючего газа (пара), окислителя, а также от температуры смеси.

Условие взрывобезопасной эксплуатации аппарата при снижении в нем давления ниже предельно допустимого значения имеет вид:

$$P_P^{\text{без}} \leq P_{\text{пр}} / K_{Б.Р}, \quad (1.6)$$

где $P_P^{\text{без}}$ безопасное рабочее давление среды в аппарате; $P_{\text{пр}}$ – предельно допустимое остаточное давление смеси; $K_{Б.Р}$ - коэффициент безопасности (запаса надежности), обычно принимаемый в пределах 1,2-1,5.

3. Создание и поддержание безопасной концентрации флегматизатора в смеси.

На практике для флегматизации среды в аппаратах используют азот, диоксид углерода (углекислый газ), дымовые газы и водяной пар (при рабочей температуре среды в аппарате выше 80 °С). Сущность процесса флегматизации горючей смеси инертным газом рассматривалась в курсе «Физико-химические основы горения и тушения пожаров».

Предельно допустимую взрывобезопасную концентрацию флегматизатора можно найти по формуле

$$ПДВК_{\varphi} = K_{Б.Ф} \varphi_{\varphi}, \quad (1.7)$$

где $K_{Б.Ф}$ - коэффициент безопасности (запаса надежности), без учета погрешностей газового анализа и неравномерности распределения концентраций, принимаемый следующим образом:

при $\varphi_{\varphi} > 0,15$ об. долей $K_{Б.Ф} = 1,2$;

при $\varphi_{\varphi} \leq 0,15$ об. долей $K_{Б.Ф} = 1,6$;

φ_{φ} - минимальная флегматизирующая концентрация флегматизатора; для некоторых индивидуальных веществ значения φ_{φ} приведены в справочнике; при отсутствии данных, а также для смесей горючих газов или паров величину φ_{φ} можно определить расчетом:

$$\varphi_{\varphi} = 1 - 4,774 \varphi_{\varphi O_2} \quad (1.8)$$

-где: $\varphi_{\varphi O_2}$ - минимальное содержание кислорода в смеси (МВСК), об. доли;

величину $\varphi_{\varphi O_2}$ можно найти по справочнику, а при отсутствии данных определить по формуле:

$$\varphi_{\varphi O_2} \approx \beta \varphi_H,$$

где: β - стехиометрический коэффициент при кислороде в уравнении сгорания 1 моля горючего газа.

Условие взрывобезопасной эксплуатации аппарата при флегматизации в нем горючей смеси имеет вид:

$$\varphi_{p,\phi} \geq ПДВК_{\phi}, \quad (1.9)$$

где $\varphi_{p,\phi}$ - фактическая (рабочая) концентрация флегматизатора.

В зависимости от особенностей проведения некоторых технологических процессов их безопасность обеспечивают следующими техническими решениями:

а) при проведении технологических процессов под вакуумом:

-создают и поддерживают безопасное остаточное давление в аппарате ниже предельно допустимого значения по горючести смеси;

-осуществляют автоматический контроль состава выходящей среды из аппарата на кислород и кислородосодержащие соединения (СО и СО₂) с помощью стационарных газоанализаторов с сигнализацией о превышении предельно допустимого количества;

-применяют автоматическую блокировку включения подачи инертного газа при превышении содержания в аппарате кислорода или кислородосодержащих соединений выше предельно допустимого количества;

б) при использовании в процессе горючей смеси, которую по условиям технологии нельзя флегматизировать инертным газом (например, при производстве формалина окислением метанола, азотной кислоты - окислением аммиака и некоторых других химических продуктов):

-организуют процесс таким образом, чтобы горючий газ вводился в окислитель (или окислитель вводился в горючий газ) непосредственно в зоне реакции;

-предотвращают появление в горючей смеси источника зажигания;

-обеспечивают подачу горючей смеси в зону реакции со скоростью, превышающей скорость распространения пламени по горючей смеси;

-защищают производственные коммуникации огнепреграждающими устройствами;

-защищают аппарат автоматической системой взрывоподавления на случай выхода химической реакции из-под контроля или системой сброса избыточного давления среды из аппарата при взрыве горючей смеси.

Анализ возможности образования ВОК в аппаратах с горючими жидкостями и способы обеспечения пожарной безопасности

Горючие жидкости хранят или перерабатывают в открытых, «дышащих» и герметичных аппаратах, а сжиженные газы (в том числе СУГ) - в герметичных аппаратах под повышенным давлением или в изотермических условиях при давлении близком к атмосферному. Рассмотрим условия образования ВОК в

аппаратах различного типа с ЛВЖ и ГЖ и необходимые меры профилактики для обеспечения безопасных режимов эксплуатации более подробно.

Открытые аппараты

При эксплуатации открытого аппарата над поверхностью жидкости образуется ВОК при условии

$$t_p \geq t_{\text{всп (о.т)}}, \quad (1.10)$$

где t_p - рабочая температура жидкости; $t_{\text{всп(о.т)}}$ - температура вспышки в открытом тигле.

Взрывобезопасные температурные условия эксплуатации открытых аппаратов с ЛВЖ и ГЖ определяют из выражения

$$t_p^{\text{без}} \leq t_{\text{всп (о.т)}} - \Delta t_{\text{б.в}}, \quad (1.11)$$

где $\Delta t_{\text{б.в}} = 35^\circ\text{C}$ - запас надежности к температуре вспышки.

Основные способы и технические решения обеспечения пожаровзрывобезопасной эксплуатации открытых аппаратов с ЛВЖ и ГЖ.

1. Создание и поддержание взрывобезопасных температурных условий эксплуатации.

2. Разбавление ЛВЖ и ГЖ растворимыми в них негорючими или трудногорючими жидкостями (например, водой, хладонами, тетрахлорметаном и др.) с получением негорючих или трудногорючих растворов, для которых при рабочей температуре эксплуатации выполняется условие безопасности (1.11). В табл. 1.1 и 1.2 приведены данные, из которых видно, что с увеличением содержания негорючих разбавителей температура вспышки растворов уксусной кислоты и диэтилкетона растет и при некоторой концентрации разбавителя этот показатель у растворов отсутствует.

Таблица 1.1

Содержание воды в уксусной кислоте, % (масс.)	0	10	20	30	55 и более
Температура вспышки, °С	40,0	54,0	60,0	63,0	Нет

Таблица 1.2

Содержание тетрахлорметана в диэтилкетоне, % (об.)	0	10	20	30	40 и более
Температура вспышки, °С	13,0	10,5	15,0	20,0	Нет

3. Хранение пожароопасной жидкости под слоем нерастворимой в ней негорючей жидкости или пены (например, сероуглерода под слоем воды, бензина или керосина под слоем пены и т. д.).

«Дышащие» аппараты

В свободном (паровоздушном) пространстве «дышащих» аппаратов с ЛВЖ и ГЖ взрывоопасные концентрации образуются в том случае, если выполняется соотношение $\varphi_n < \varphi_p < \varphi_v$. Наибольшую трудность представляет определение рабочей концентрации паров жидкости в паровоздушном пространстве (ПВП) аппарата, которая в зависимости от целого ряда условий может изменяться практически от 0 до максимального при рабочей температуре жидкости значения - насыщенной концентрации φ_s .

В связи с этим рассмотрим два случая:

-в аппарате жидкость длительно хранится при постоянном уровне и неизменных температуре и давлении окружающей среды (аппарат с неподвижным уровнем жидкости);

-в аппарате с жидкостью изменяются ее уровень, температура или давление окружающей среды (аппарат с подвижным уровнем жидкости).

Аппарат с неподвижным уровнем жидкости

Вследствие постоянства объема свободного пространства (уровень жидкости не изменяется по условию), температуры и давления окружающей среды приток воздуха через дыхательное устройство внутрь аппарата не происходит. Находящийся в свободном пространстве аппарата воздух постепенно насыщается парами жидкости, концентрация которых через определенное время во всех точках ПВП становится насыщенной, т. е. $\varphi_p \approx \varphi_s$.

Из курса химии известно, что концентрация насыщенного пара является функцией температуры, т. е. $\varphi_s = f(t)$. Поэтому в этом случае условие образования ВОК можно записать в виде:

$$t_{н.п} \leq t_p \leq t_{в.п} \quad (1.12)$$

где $t_{н.п}$ и $t_{в.п}$ - нижний и верхний температурные пределы распространения пламени, соответствующие нижнему и верхнему концентрационным пределам распространения пламени; t_p - рабочая температура жидкости.

Взрывобезопасные температурные условия эксплуатации аппаратов с неподвижным уровнем жидкости можно найти из выражений:

$$t_{р.н}^{без} \leq \frac{B}{A - \lg[0,9 \cdot 10^{-3}(\varphi_n - 0,0021)p_0]} - C_A \quad (1.13)$$

или

$$t_{p.v}^{\text{без}} \geq \frac{B}{A - \lg[1,1 \cdot 10^{-3} (\varphi_v + 0,0042) p_o]} - C_A, \quad (1.14)$$

где $t_{p.n}^{\text{без}}$ и $t_{p.v}^{\text{без}}$ - взрывобезопасные рабочие температуры горючей жидкости в аппарате, °С; A , B , C_A - константы уравнения Антуана; p_o - давление окружающей среды, обычно принимаемое равным $1 \cdot 10^5$ Па.

Необходимо отметить, что подсасывание по какой-либо причине воздуха через дыхательное устройство вовнутрь аппаратов, температура жидкости в которых соответствует условиям безопасности (1.13) и (1.14), приводит к совершенно противоположным результатам. В первом случае, когда выполняется условие (1.13), происходит разбавление воздухом «бедной» негорючей смеси (например, состава φ_{p1}) и снижение концентрации значительно ниже значения $\varphi_{p.n}^{\text{без}}$ соответствующего температуре $t_{p.n}^{\text{без}}$, что гарантирует еще большую взрывобезопасность. Во втором случае, когда выполняется условие (1.14), происходит разбавление воздухом «богатой» негорючей смеси (например, состава φ_{p2}) и снижение концентрации до значения φ_v и ниже с образованием взрывоопасной смеси. Схема процессов разбавления смесей воздухом показана на рис. 1.5.

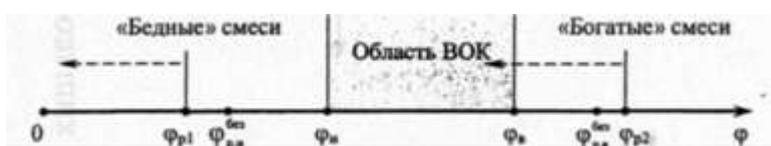


Рис. 1.5. Схема образования ВОК в «дышащем» аппарате: φ - содержание горючего компонента в паровоздушной смеси; <--- направление изменения концентрации паров в паровоздушной смеси при ее разбавлении воздухом

Аппарат с подвижным уровнем жидкости

В действительности при эксплуатации «дышащего» аппарата насыщенная концентрация паров жидкости в ПВП не образуется вследствие притока воздуха через дыхательное устройство вовнутрь при снижении уровня жидкости, температуры окружающей среды или увеличения барометрического давления. Условие образования ВОК в этом случае выражается неравенством:

$$\varphi_s \geq \varphi_n. \quad (1.15)$$

Следует иметь в виду, что оценка пожаровзрывоопасности среды по концентрационным пределам распространения пламени объективнее, чем по температурным, так как состояние насыщения зависит от температуры

поверхностного слоя жидкости, а не всей ее массы. Кроме того, концентрации распределяются неравномерно как по высоте, так и по сечению аппарата. Однако измерить концентрацию значительно сложнее, чем температуру, а учесть неравномерность ее распределения в каждый момент времени в ПВП производственного аппарата практически невозможно. Поэтому взрывоопасная концентрация паров в «дышащем» аппарате с подвижным уровнем жидкости образуется при выполнении условия

$$t_p \geq t_{\text{воспл}} \quad (1.16)$$

или с небольшой переоценкой опасности (с запасом) условия

$$t_p \geq t_{\text{всп(з.т)}}, \quad (1.17)$$

где $t_{\text{воспл}}$ - температура воспламенения; $t_{\text{всп(з.т)}}$ - температура вспышки в закрытом тигле.

Взрывобезопасное температурное условие эксплуатации «дышащего» аппарата с подвижным уровнем жидкости определяется выражением (1.13).

Основные способы обеспечения взрывобезопасности «дышащих» аппаратов с ЛВЖ и ГЖ:

1. Ликвидация свободного пространства, что достигается применением плавающих крыш.

2. Снижение количества паров, поступающих в ПВП, что достигается:

-хранением пожароопасных жидкостей под слоем пены, негорючих эмульсий, микрошариков;

-применением понтонов.

3. Создание и поддержание взрывобезопасных температурных условий эксплуатации аппаратов.

4. Создание и поддержание безопасной концентрации флегматизатора в смеси.

5. Разбавление ЛВЖ и ГЖ растворимыми в них негорючими или трудногорючими жидкостями с получением негорючих или трудногорючих растворов, для которых при рабочих условиях эксплуатации выполняется условие безопасности (1.14).

Герметичные аппараты

В герметичных аппаратах с горючими жидкостями взрывоопасные концентрации паров образуются при выполнении двух условий:

1. Имеется свободное пространство, в которое попадает воздух или по условиям ведения технологического процесса подается окислитель.

2. Выполняется соотношение: $\varphi_H \leq \varphi_p \leq \varphi_B$

Взрывобезопасность при эксплуатации герметичных аппаратов с ЛВЖ и ГЖ обеспечивается при выполнении следующих условий:

-отсутствует свободное пространство;

$$\varphi_{P.H}^{БЕЗ} \leq 0,9 \cdot (\varphi_H - 0,0021) \quad \text{или} \quad \varphi_{P.B}^{БЕЗ} \geq 1,1 \cdot (\varphi_B + 0,0042).$$

Основные способы обеспечения взрывобезопасной эксплуатации герметичных аппаратов с ЛВЖ и ГЖ:

1. Ликвидация свободного пространства, что достигается:
 - хранением пожароопасной жидкости под или над слоем нерастворимой в ней негорючей жидкости (рис. 1.6);
 - применением аппаратов с эластичными стенками (рис. 1.7).
2. Создание и поддержание взрывобезопасных температурных условий эксплуатации аппарата.
3. Создание и поддержание безопасной концентрации флегматизатора в смеси.

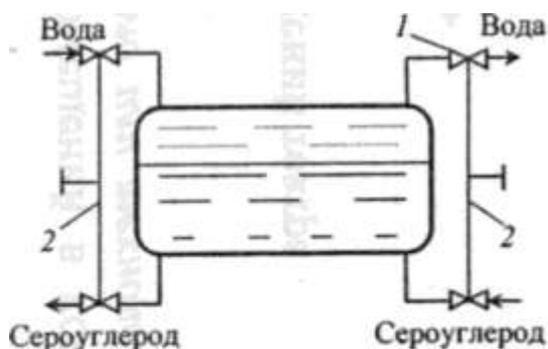


Рис. 1.6. Схема обвязки аппарата для хранения сероуглерода под слоем воды:
1 – задвижки; 2 – привод задвижек

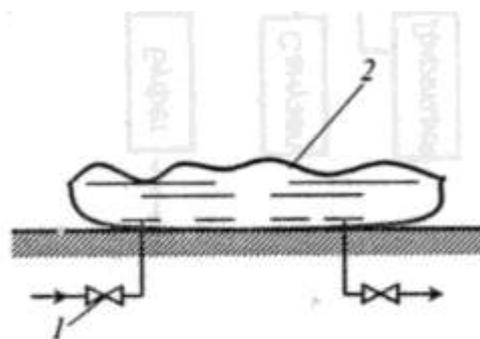


Рис. 1.7. Схема хранилища с эластичными стенками:
1 – задвижки; 2 – эластичная стенка

Флегматизацию среды в герметичных аппаратах с ЛВЖ и ГЖ осуществляют как негорючими, так и горючими газами. Во втором случае суммарная концентрация горючих паров и флегматизирующих горючих газов в смеси определяется из выражения $\varphi_{P.B}^{БЕЗ} \geq 1,1 \cdot (\varphi_B + 0,0042)$.

Такого же результата можно достигнуть разбавлением ЛВЖ и ГЖ растворимыми в них горючими жидкостями с более высокой упругостью паров, чтобы также выполнялось приведенное выше соотношение.

4. Разбавление ЛВЖ и ГЖ растворимыми в них негорючими или трудногорючими жидкостями с получением негорючих или трудногорючих растворов, для которых при рабочих условиях эксплуатации выполняется условие безопасности (1.13).

5. Создание и поддержание безопасного остаточного давления в аппарате ниже предельно допустимого значения (условие безопасности (1.5)), при котором исключается распространение пламени по смеси (смесь становится взрывобезопасной).

Анализ возможности образования ВОК в аппаратах с твердыми горючими материалами и способы обеспечения пожарной безопасности

При хранении, переработке или обработке в аппаратах различного типа твердых горючих материалов образуются горючие пыли (волокна), которые в зависимости от размеров, формы и материала частиц, а также от вида и скорости движущегося газа над ними могут находиться во взвешенном состоянии (аэрозоли) или в виде осевшего слоя (аэрогели). При изменении внешних условий аэрозоль легко переходит в аэрогель и наоборот. В связи с этим взрывоопасность технологического оборудования определяется не только количеством пыли, находящейся в данный момент во взвешенном состоянии, но и количеством осевшей пыли, способной перейти во взвешенное состояние. Критерием перехода взвешенной пыли в осевшее состояние является скорость витания ω_0 , под которой понимают минимальную скорость движения среды, при которой частицы пыли данного размера еще не оседают. Условие перехода осевшей пыли во взвешенное состояние:

$$\omega_p \geq \omega_0 \quad (1.18)$$

где ω_p - рабочая (действительная) скорость движения газа.

Размеры частиц пыли, обращающихся в технологическом процессе, колеблются в диапазоне от долей микрометра до долей миллиметра, скорость витания которых также изменяется в широких пределах.

При оценке возможности образования взрывоопасной смеси в аппарате практическое значение имеет только нижний концентрационный предел распространения пламени пыли, так как в производственных условиях верхний концентрационный предел распространения пламени не достигается. Условие образования ВОК в аппаратах с горючими пылями (волокнами):

$$\varphi_p \geq \varphi_H \quad (1.19)$$

где φ_p - рабочая концентрация пыли в аппарате (с учетом осевшей пыли); φ_H - нижний концентрационный предел распространения пламени пыли.

Следует иметь в виду, что в образовании ВОК участвует не весь горючий пылевидный материал, а только часть его с частицами пыли определенного размера, долю которых надо учитывать при определении рабочей концентрации. Нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР) также зависит от размеров частиц пыли: сначала по мере уменьшения размеров частиц он растет, а затем снижается. Поэтому в выражение (1.19) подставляют минимальное значение НКПР пыли.

Взрывобезопасное условие эксплуатации аппаратов любого типа с горючими пылями имеет вид:

$$\varphi_p^{БЕЗ} \leq \varphi_H / K_{Б.Н} \quad (1.20)$$

где $K_{Б.Н}$ - коэффициент безопасности; обычно принимают $K_{Б.Н} \geq 2$.

Основные способы обеспечения взрывобезопасности оборудования с горючими пылями (волоконками):

1. Предотвращение пылеобразования при обработке и переработке твердых горючих материалов путем:

использования менее пылящих технологических процессов (например, вибрационного размола);

увлажнения материалов;

ограничения скорости движения среды ниже предельно допустимой скорости витания частиц пыли наименьшего размера, еще способных взрываться.

2. Устройство систем аспирации.

3. Создание и поддержание безопасной концентрации флегматизатора в аппарате.

4. Разбавление горючих пылевидных веществ и материалов негорючими (минеральными) веществами (например, хлористым натрием или кальцием, мелом, жженой магнезией и др.) с образованием негорючих смесей либо смесей, для которых при рабочих условиях эксплуатации выполняется условие безопасности (1.20).

5. Рациональное конструирование оборудования, в котором в зависимости от его назначения предотвращается осаждение взвешенных частиц пыли на стенках (например, для предотвращения образования застойных зон у воздухопроводов делают плавные повороты, равномерно распределяют подачу воздуха по сечению сушилок и т. д.) или предотвращается взвихрение уловленной пыли (например, в бункерах циклонов, отстойников, фильтров и в тому подобных аппаратах).

6. Предотвращение конденсации влаги на стенках аппаратов и трубопроводов.

7. Предотвращение электризации пыли или отвод образующихся электрических зарядов путем:

-ионизации среды;

-увлажнения пыли;

-введения добавок, обладающих высокой электропроводностью (например, сажи);

-надежного заземления оборудования.

Анализ возможности образования ВОК в технологическом оборудовании при пуске его в работу и остановке на осмотр или ремонт и способы обеспечения пожарной безопасности

Анализ статистических данных показывает, что наибольшее число взрывов и пожаров на технологических установках возникает в периоды пуска оборудования в работу, остановки его на осмотр или ремонт и непосредственно во время проведения ремонта. Во многом это связано с образованием ВОК в технологическом оборудовании, что происходит вследствие двух причин:

1) наличия воздуха в аппаратах перед их заполнением горючими веществами во время пуска в работу нового или отремонтированного оборудования;

2) наличия остатков горючих веществ в открываемых для осмотра или ремонта аппаратах.

В технологических регламентах наиболее пожаровзрывоопасных производств имеются разделы, в которых изложены правила безопасной подготовки установок, линий, агрегатов, отдельных аппаратов и коммуникаций к эксплуатации при первоначальном пуске производства и после ремонта оборудования, правила остановки производства (плановой и аварийной), а также особенности пуска и остановки объектов в зимнее время.

Предотвращение образования ВОК в технологическом оборудовании при пуске его в работу достигается продувкой аппаратов и коммуникаций водяным паром или инертным газом. Продувку производят до тех пор, пока концентрация кислорода в отходящих на продувочную свечу газах не достигнет безопасного значения.

Оценить продолжительность продувки можно, решив уравнение материального баланса аппарата, исходя из предположения, что расход инертного газа является постоянным, в нем не содержатся посторонние примеси, давление в системе также постоянное, а компоненты газовой смеси распределяются во всем пространстве аппарата равномерно.

Уравнение материального баланса по инертному газу имеет вид:

$$q d\tau = V d\varphi + q \varphi d\tau, \quad (1.21)$$

где q - расход инертного газа, м³/с; V - свободный объем аппарата, м³; φ - концентрация инертного газа, об. доли.

После разделения переменных имеем

$$d\tau = \frac{V d\varphi}{q(1-\varphi)}.$$

Проинтегрируем левую и правую части уравнения, учитывая, что в начале продувки концентрация инертного газа в аппарате $\varphi_{нач} = 0$, а на момент окончания продувки $\tau_{кон}$ концентрация инертного газа в аппарате $\varphi_{кон}$ равна:

$$\int_0^{\tau_{кон}} d\tau = \frac{V}{q} \int_0^{\varphi_{кон}} \frac{d\varphi}{1-\varphi},$$
$$\tau_{кон} = -\frac{V}{q} \ln \frac{1-\varphi_{кон}}{1} = \frac{V}{q} \ln \frac{1}{1-\varphi_{кон}}.$$

Так как при окончании продувки среда в аппарате должна быть взрывобезопасной ($\varphi_{кон} = \varphi_{\phi}^{БЕЗ}$), то окончательно имеем с учетом неравномерности распределения концентрации

$$\tau_{кон} = \frac{VK_n}{q} \ln \frac{1}{1 - \varphi_{\phi}^{БЕЗ}}, \quad (1.22)$$

где K_n - коэффициент неравномерности распределения концентрации

$$K_n = a \left(\frac{q}{v} \right)^e, \quad (1.23)$$

где $a = 0,48, e = 0,132$ (для емкостных технологических аппаратов).

Заключение об окончании продувки можно сделать только после анализа пробы продувочных газов на фактическое содержание инертного компонента при выполнении условия безопасности

$$\varphi_{\phi.p} \geq \varphi_{\phi}^{БЕЗ}. \quad (1.24)$$

В случае отсутствия инертных газов, предотвращение образования ВОК в технологическом оборудовании при остановке на осмотр или ремонт обеспечивается следующими способами и техническими решениями:

1. Полным удалением горючих веществ и материалов из аппаратов, что достигается устройством стационарных сливных или продувочных линий, уклоном днищ аппаратов и трубопроводов в сторону сливных устройств, применением ситчатых или других самоопорожняющихся тарелок в ректификационных колоннах и абсорберах и тому подобными решениями, а также герметичным отключением остановленного оборудования от соседних работающих аппаратов и трубопроводов.

2. Промывкой аппаратов водой или растворами технических моющих средств.

3. Пропаркой аппаратов водяным паром или продувкой воздухом до остаточного содержания горючих веществ в продувочных газах, отвечающего условию взрывобезопасности:

$$\varphi_{ост}^{БЕЗ} \leq \varphi_n / K_{б.н}, \quad (1.25)$$

где $\varphi_{ост}^{БЕЗ}$ - остаточная взрывобезопасная концентрация горючих веществ в аппарате; $K_{б.н}$ - коэффициент безопасности; если в аппарате предполагается

$$K_{б.н} \geq 20$$

$$K_{б.н} \geq 2$$

проведение огневых ремонтных работ или имеется опасность появления иных источников зажигания, то $K_{б.н} > 20$; при отсутствии опасности появления источника зажигания допускается принимать $K_{б.н} \geq 2$.

4. Флегматизацией газового пространства аппарата.

5. Изоляцией источника зажигания от горючих веществ с помощью воздушно-механических, инертно-механических пен и др.

Контрольные вопросы

Какие принципы обеспечения пожарной безопасности изложены в ГОСТ 12.1.004-91?

Какие общие требования по обеспечению пожарной безопасности технологических процессов изложены в ГОСТ Р 12.3.047-98?

Как классифицируются технологические процессы согласно ГОСТ Р 12.3.047-98?

Что такое критерий аддитивности и для чего его определяют?

К какому виду относится технологический процесс, для которого критерий аддитивности больше или равен 1?

К какому виду относится технологический процесс, для которого критерий аддитивности меньше 1?

Что такое пороговое количество опасного вещества и для каких классов веществ оно установлено?

В чем заключается сущность анализа пожарной опасности технологического процесса повышенной опасности?

В каком случае считается безусловно выполненной пожарной безопасностью технологического процесса повышенной опасности?

В каком случае эксплуатация технологического процесса повышенной опасности является недопустимой?

Что требуется предпринять, если риски при эксплуатации технологического процесса повышенной опасности превышают допустимые значения?

В каком случае допускается использовать иные критерии пожарной безопасности технологического процесса, отличные от рисков?

Какие иные критерии, отличные от рисков, допускается использовать для оценки пожарной безопасности технологического процесса?

В чем заключается сущность анализа пожарной опасности технологического процесса, отличного от процесса повышенной опасности?

Укажите типы технологических аппаратов в зависимости от степени их герметизации.

Как влияют свойства перерабатываемого вещества на выбор типа аппарата?

Поясните общее условие образования ВОК в технологическом оборудовании.

В каких случаях в аппаратах с горючими газами образуются ВОК?

Напишите условие образования ВОК в аппарате с горючим газом и поясните его.

Как можно определить рабочую концентрацию ГГ в аппарате?

Зачем при определении безопасной концентрации горючего вещества в аппарате вводят коэффициент запаса надежности?

Напишите условия взрывобезопасной эксплуатации аппарата с ГГ и поясните их.

Перечислите основные способы обеспечения взрывобезопасной эксплуатации герметичных аппаратов с ГГ.

Какие инертные газы применяются для флегматизации среды в аппаратах?

Как определить расчетом предельно допустимую взрывобезопасную концентрацию флегматизатора?

Как обеспечивают безопасные условия эксплуатации аппаратов с ГГ, работающих под вакуумом?

Как обеспечивают безопасные условия эксплуатации аппаратов, горючие смеси в которых по условиям технологии нельзя флегматизировать инертными газами?

Напишите условие взрывоопасности при эксплуатации открытого аппарата с ЛВЖ и поясните его.

Напишите условие взрывобезопасности при эксплуатации открытого аппарата с ЛВЖ и поясните его.

Перечислите способы и технические решения обеспечения пожаровзрывобезопасной эксплуатации открытых аппаратов с ЛВЖ и ГЖ.

Напишите условие образования ВОК в аппарате с неподвижным уровнем длительно хранящейся ЛВЖ и поясните его.

Напишите взрывобезопасные температурные условия эксплуатации аппаратов с неподвижным уровнем ЛВЖ и поясните их.

Напишите условия образования ВОК в «дышащем» аппарате с подвижным уровнем ЛВЖ и поясните их.

Напишите взрывобезопасное температурное условие эксплуатации аппарата с подвижным уровнем ЛВЖ и поясните его.

Перечислите основные способы обеспечения взрывобезопасности «дышащих» аппаратов с ЛВЖ и ГЖ.

Поясните причины и условия образования ВОК в герметичных аппаратах с ЛВЖ и ГЖ.

Напишите условия обеспечения взрывобезопасности при эксплуатации герметичных аппаратов с ЛВЖ и ГЖ и поясните их.

Перечислите основные способы обеспечения взрывобезопасной эксплуатации герметичных аппаратов с ЛВЖ и ГЖ.

39. Поясните условие перехода осевшей пыли во взвешенное состояние.

Напишите условие образования ВОК в аппарате с горючей пылью и поясните его.

Напишите взрывобезопасное условие эксплуатации аппарата с горючей пылью и поясните его.

Перечислите основные способы обеспечения взрывобезопасности оборудования с горючими пылями (волокнами).

По каким причинам происходит образование ВОК в аппаратах при их пуске в работу или остановке на ремонт?

Как предотвращают образование ВОК в технологическом оборудовании при его пуске в работу?

Как предотвращают образование ВОК в технологическом оборудовании при его остановке на осмотр или ремонт?

ЛИТЕРАТУРА

Пожарная безопасность технологических процессов: Рабочая программа. - М.: Академия ГПС МВД России, 2003.

Федеральный закон «О пожарной безопасности».

ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования.

ГОСТ Р 12.3.047-98 Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.

ГОСТ 12.1.044-89 Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.

НПБ 23-2001 Пожарная опасность технологических сред. Номенклатура показателей.

Алексеев М.В., Волков О.М., Шатров Н.Ф. Пожарная профилактика технологических процессов производств. - М.: ВИПТШ МВД СССР, 1985.

Горячев С.А., Клубань В.С. Задачник по курсу «Пожарная профилактика технологических процессов». - М.: ВИПТШ МВД РФ, 1996.

Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ, изд.: В 2 кн./*А.Н. Баритов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук* и др. - М.: Химия, 1990.

Лекция2

ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ ВЫХОДА ГОРЮЧИХ ВЕЩЕСТВ ИЗ НОРМАЛЬНО РАБОТАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Пожарная опасность выхода горючих газов из аппаратов и способы обеспечения пожарной безопасности

Из исправных технологических аппаратов независимо от их типа и режима работы горючие газы и пары могут в том или ином количестве выходить наружу. В определенных случаях это приводит к образованию местных зон взрывоопасных концентраций (зон ВОК).

Открытые и «дышащие» аппараты

Горючие газы хранят и перерабатывают в герметичных аппаратах. Однако в некоторых случаях при проведении химических или электрохимических процессов переработки негорючих веществ и материалов в открытых или

«дышащих» аппаратах в них могут образовываться и выделяться наружу горючие газы.

Примерами таких аппаратов и процессов служат:

-ванны для электрофореза и нанесения гальванических покрытий;

-аппараты, в которых протекают химические процессы, сопровождающиеся выделением горючих газов (например, водорода при разложении гидридов металлов или при протравливании металлов кислотами, ацетиленом при воздействии воды на карбид кальция);

-аккумуляторные батареи при их зарядке и др.

Масса выделившегося горючего газа играет существенную роль в процессе формирования пожарной опасности открытых и «дышащих» аппаратов.

При протекании электрохимических процессов электролиз или зарядку аккумулятора, количество выделяющегося водорода m , кг, определяют по формуле

$$m = 1,036 \cdot 10^{-8} \cdot I \cdot \tau \quad (2.1)$$

где I - максимальный ток, А; τ - продолжительность процесса, с.

При протекании химических процессов вид и количество выделившихся горючих газов определяют с учетом законов кратных отношений, сохранения масс и эквивалентов на основе составленных уравнений химических реакций.

Объем взрывоопасной зоны, образующейся вблизи места выделения газа, оценивают по формуле

$$V_{\text{вок}} = \frac{m}{\varphi_{\text{н}}^*} K_{\text{Б.Н}}$$

где $V_{\text{вок}}$ - объем взрывоопасной зоны, м³;

$\varphi_{\text{н}}^*$ - нижний концентрационный предел распространения пламени, кг/м³;

$K_{\text{Б.Н}}$ - коэффициент безопасности; обычно $K_{\text{Б.Н}} \geq 2$.

Основные способы обеспечения пожарной безопасности в производственных помещениях:

1. Нейтрализация выделяющихся горючих газов (поглощение, сжигание).
2. Герметизация оборудования.
3. Устройство систем отвода выделяющихся газов за пределы помещений.
4. Устройство укрытий, оборудованных вентиляцией.
5. Устройство местных отсосов.
6. Устройство систем аэрации и общеобменной вентиляции.
7. Вынос оборудования из помещений на открытые площадки.

Основные способы обеспечения пожарной безопасности на наружных установках:

1. Герметизация оборудования.
2. Отвод образующихся газов на специально оборудованную свечу или факел.
3. Предотвращение сброса газов из дыхательных трубопроводов в зону аэродинамической тени.
4. Прекращение ведения технологического процесса, связанного с выделением горючих газов, при неблагоприятных атмосферных условиях.

Герметичные аппараты

Утечки горючих газов (перегретых паров) из герметичных аппаратов, работающих под давлением, происходят через неплотности в прокладках, сальниковых уплотнениях, через микротрещины в сварных швах и тому подобных местах.

Массу выделяющихся газов определяют по формуле

$$m = K_H K_p V_{св} \tau \sqrt{\frac{M}{t_p + 273}}, \quad (2.3)$$

где K_H - коэффициент, учитывающий степень износа оборудования; $K_H = 1-2$; K_p - коэффициент, зависящий от давления среды, величину которого можно оценить по формуле $K_p = (2,2 \cdot \lg p + 5,6) \cdot 10^{-5}$; p - абсолютное давление среды в аппарате, МПа; $V_{св}$ - свободный объем аппарата, м³; τ - продолжительность работы аппарата, с; M - молекулярная масса газа; t_p - рабочая температура среды в аппарате, °С.

Утечки горючих газов (перегретых паров) из герметичного оборудования рассредоточены в пространстве и происходят равномерно в течение всего периода эксплуатации, поэтому в данном случае местные зоны ВОК не образуются, а происходит постепенное нарастание концентрации горючих газов в воздухе производственного помещения. Если принять, что интенсивность выделения горючих газов из оборудования относительно мала, а сами газы распределяются во всем объеме помещения равномерно и достаточно быстро, то их концентрацию можно определить по формулам:

-при отсутствии воздухообмена в помещении

$$\varphi_d = \frac{\sum m}{V_{св}}, \quad (2.4)$$

где φ_d - средняя концентрация горючего вещества, кг/м³;

$V_{св}$ – свободный объем помещения;

$\sum m$ - суммарная масса вещества, выделившегося в производственное помещение из технологического оборудования;

-при наличии воздухообмена в помещении

$$\varphi_d = \frac{3600 \cdot \sum m}{V_{CB} \cdot A \cdot \tau}, \quad (2,5)$$

где A - кратность воздухообмена в помещении, создаваемого приточно-вытяжной вентиляцией, τ^{-1} ;

τ - продолжительность работы оборудования, с.

Исходя из условия взрывобезопасности, концентрация горючих газов (паров) в воздухе производственного помещения не должна превышать предельно допустимого взрывобезопасного значения - ПДВК:

$$\varphi_d \leq \text{ПДВК} \quad (2.6)$$

Так как многие горючие газы и перегретые пары относятся к вредным веществам, то, исходя из условия безопасности обслуживающего персонала, их концентрация в воздухе рабочей зоны не должна превышать предельно допустимого значения по санитарным нормам - ПДК:

$$\varphi_d \leq \text{ПДК} \quad (2.7)$$

Численные значения ПДК значительно меньше ПДВК. Например, ПДК для бензола и стирола - $0,005 \text{ г/м}^3$; для аммиака и оксида углерода - $0,02 \text{ г/м}^3$; для гексана - $0,18 \text{ г/м}^3$. ПДВК для этих же веществ соответственно равны $9,9$; $10,2$; $22,8$; $31,2$ и $9,5 \text{ г/м}^3$, что на 2-3 порядка больше ПДК.

Таким образом, выполнение требований промсанитарии с помощью различных профилактических мероприятий (т.е. обеспечение санитарной безопасности) способствует обеспечению взрывопожарной безопасности.

Основные способы обеспечения взрывопожарной безопасности:

1. Периодический контроль герметичности оборудования (испытание на герметичность).
2. Замена износившихся прокладок, отдельных узлов и оборудования в целом, подтяжка разъемных соединений и т. д.
3. Замена сальниковых уплотнений на более герметичные (например, торцевые).
4. Устройство систем аэрации, локальной и общеобменной вентиляции.
5. Вынос оборудования из помещений на открытые площадки.

Пожарная опасность выхода паров ЛВЖ и ГЖ из аппаратов и способы обеспечения пожарной безопасности

Эксплуатация аппаратов различного типа с ЛВЖ и ГЖ сопровождается выделением наружу жидкостей и паров, которые могут образовывать зоны ВОК в производственных помещениях и на открытых площадках. Размеры образующихся зон определяются количеством выходящих пожароопасных

жидкостей и паров, их свойствами, а также условиями растекания жидкостей, выброса и рассеивания паров.

Открытые аппараты

К открытым аппаратам, или аппаратам с открытой поверхностью испарения жидкостей, относятся всевозможные ванны для промывки и окраски изделий, пропитки тканей и бумаги растворами смол, приемные лотки и поддоны на линиях затаривания растворителей, красок, лаков и других пожароопасных жидкостей и многие другие. Испарение происходит также с окрашенных поверхностей при сушке изделий, а также с поверхностями разлива жидкостей.

Зона ВОК над поверхностью горючей жидкости в аппарате или над свежеекрасочной поверхностью образуется только в том случае, если выполняется условие $t_p \geq t_{всп}$.

На интенсивность испарения жидкости оказывает влияние множество факторов, характеризующих свойства самой жидкости и окружающей среды. Для упрощения изучения и описания явлений, влияющих на образование зон ВОК, рассмотрим процессы испарения жидкости в неподвижную и движущуюся среды.

Испарение в неподвижную среду

Испарение горючей жидкости в неподвижную среду происходит вследствие молекулярной диффузии. Предположим, что в системе горючая жидкость-пар давление и температура не изменяются, а рассеивания паров за границы поверхности испарения не происходит. Схема распределения паров над поверхностью горючей жидкости для этого случая приведена на рис. 2.1. Непосредственно над поверхностью горючей жидкости концентрация паров равна насыщенной φ_s , а в цюбой произвольной точке на расстоянии h от

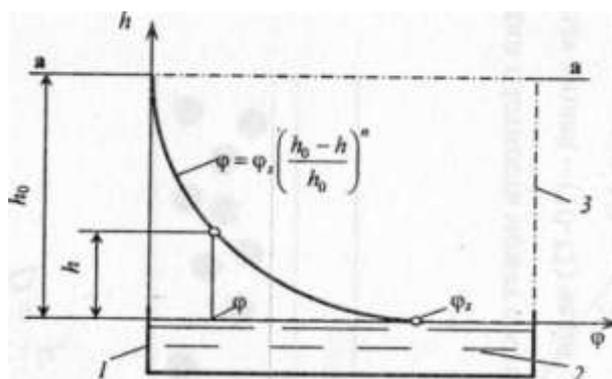


Рис. 2.1. Распределение концентрации паров над жидкостью на момент времени τ от начала испарения: **а-а** - плоскость, где концентрация паров равна $\mathbf{0}$;

1 - открытый аппарат; 2 - жидкость; 3 - условная цилиндрическая поверхность, направляющей которой является граница зеркала жидкости

поверхности жидкости - φ .

Массу испарившейся горючей жидкости можно найти по формуле

$$m_H = \varphi_{CP} \cdot \rho_{II} \cdot F \cdot h_0 \quad (2.8)$$

$$h_0 = f(\tau) = \sqrt{\frac{2Dn(n+1)\tau}{1-\varphi_s}},$$

где D - коэффициент диффузии, m^2/c ; τ - продолжительность испарения, с.

Установлено, что для большинства жидкостей $n \approx 2$. Тогда

где m_n - масса жидкости, испарившейся в неподвижную среду, кг; φ_{cp} - средняя концентрация паров над поверхностью испарения об. доли, определяемая из выражения $\varphi_{cp} = \varphi_s / (n+1)$ (здесь φ_{cp} - насыщенная концентрация паров; n - показатель, характеризующий закон распределения концентрации паров над поверхностью жидкости); ρ_n - плотность паров, кг/м³; F - поверхность испарения, м²; h_0 - расстояние от поверхности испарения до плоскости **а-а**, где концентрация паров равна нулю, м. Величина h_0 зависит от продолжительности испарения:

$$h_0 = f(\tau) = \sqrt{\frac{2Dn(n+1)\tau}{1-\varphi_s}} \quad (2,9)$$

где D – коэффициент диффузии, м²/с; τ - продолжительность испарения, с. Установлено, что для большинства жидкостей $n \approx 2$. Тогда

$$\varphi_{cp} = \frac{\varphi_s}{3}; \quad h_0 = \sqrt{\frac{12D\tau}{1-\varphi_s}} \quad \text{и} \quad m_n = 2\varphi_s\rho_n F \sqrt{\frac{D\tau}{3(1-\varphi_s)}}. \quad (2.10)$$

Текущая концентрация на расстоянии h от поверхности испарения может быть найдена из выражения

$$\varphi = \varphi_s \left(\frac{h_0 - h}{h_0} \right)^2. \quad (2,11)$$

Наличие и вид зоны ВОК зависят от соотношения φ_s, φ_n и φ_a . Здесь возможны три случая:

$$1) \varphi_s < \varphi_n; \quad 2) \varphi_n \leq \varphi_s \leq \varphi_a; \quad 3) \varphi_s > \varphi_a.$$

В первом случае насыщенная концентрация паров над поверхностью испарения жидкости не превышает НКПР и взрывоопасная паровоздушная смесь не образуется (рис. 2.2).

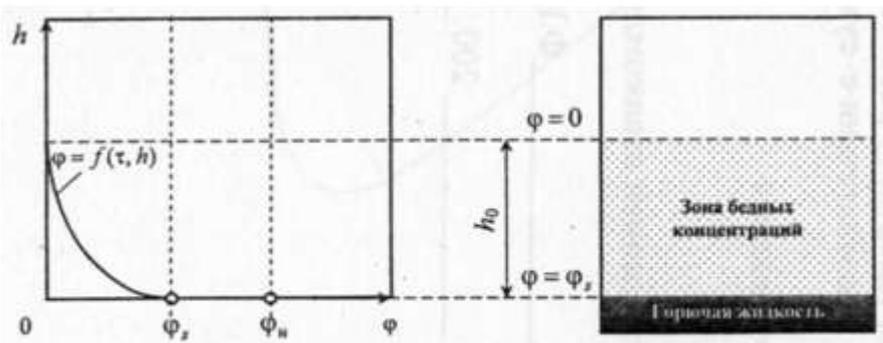


Рис. 2.2. Распределение концентрации паров над поверхностью горючей жидкости в момент времени t при выполнении начального условия $\varphi < \varphi_H$

Во втором случае зона ВОК примыкает непосредственно к поверхности испаряющейся жидкости и простирается вверх до места, где $\varphi = \varphi_H$ (рис. 2.3). В этом случае зона ВОК непрерывно увеличивается во времени, но нижняя ее граница не «отрывается» от поверхности жидкости.

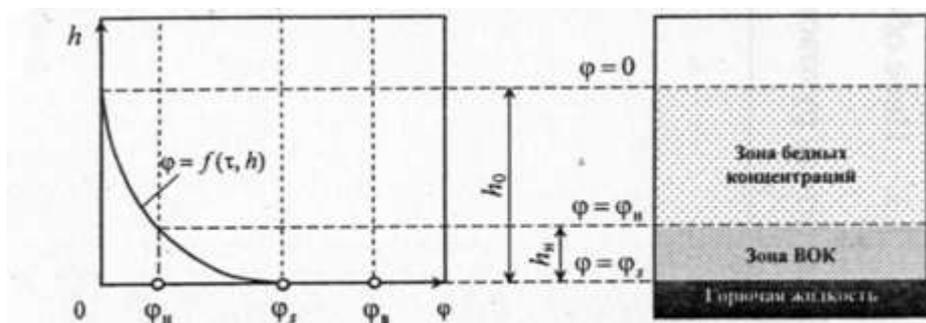


Рис. 2.3. Распределение концентрации паров над поверхностью горючей жидкости в момент времени t при выполнении начального условия $\varphi_H \leq \varphi_s \leq \varphi_B$.

В третьем случае зона ВОК находится на определенном расстоянии от поверхности жидкости h_B и простирается вверх до места, где $\varphi = \varphi_H$ (рис. 2.4). В этом случае зона ВОК и ее размеры по вертикали также непрерывно увеличиваются во времени.

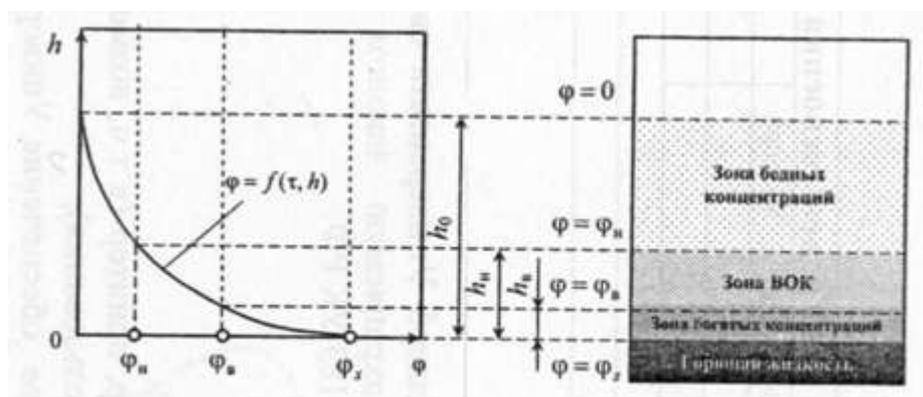


Рис. 2.4. Распределение концентрации паров над поверхностью горючей жидкости в момент времени t при выполнении начального условия $\varphi_s > \varphi_B$.

Из выражений (2.10) определим расстояния от поверхности жидкости до мест, где концентрация паров равна φ_H и φ_B

$$h_H = \left(1 - \sqrt{\frac{\varphi_H}{\varphi_s}}\right) h_0 = \left(1 - \sqrt{\frac{\varphi_H}{\varphi_s}}\right) \sqrt{\frac{12 D \tau}{1 - \varphi_s}}; \quad (2.12)$$

$$h_B = \left(1 - \sqrt{\frac{\varphi_B}{\varphi_s}}\right) h_0 = \left(1 - \sqrt{\frac{\varphi_B}{\varphi_s}}\right) \sqrt{\frac{12 D \tau}{1 - \varphi_s}}. \quad (2.13)$$

Тогда образовавшиеся зоны ВОК будут иметь следующие характеристики:
- для второго случая:

$$h_{\text{ВОК}2} = h_H = \left(1 - \sqrt{\frac{\varphi_H}{\varphi_s}}\right) \sqrt{\frac{12 D \tau}{1 - \varphi_s}}; \quad (2.14)$$

$$V_{\text{ВОК}2} = F h_{\text{ВОК}2} = F \left(1 - \sqrt{\frac{\varphi_H}{\varphi_s}}\right) \sqrt{\frac{12 D \tau}{1 - \varphi_s}}; \quad (2.15)$$

- для третьего случая:

$$\begin{aligned} h_{\text{ВОК}3} &= h_H - h_B = \left(1 - \sqrt{\frac{\varphi_H}{\varphi_s}}\right) \sqrt{\frac{12 D \tau}{1 - \varphi_s}} - \left(1 - \sqrt{\frac{\varphi_B}{\varphi_s}}\right) \sqrt{\frac{12 D \tau}{1 - \varphi_s}} = \\ &= \left(\sqrt{\frac{\varphi_B}{\varphi_s}} - \sqrt{\frac{\varphi_H}{\varphi_s}}\right) \sqrt{\frac{12 D \tau}{1 - \varphi_s}}; \end{aligned} \quad (2.16)$$

$$V_{\text{ВОК}3} = F h_{\text{ВОК}3} = F \left(\sqrt{\frac{\varphi_B}{\varphi_s}} - \sqrt{\frac{\varphi_H}{\varphi_s}}\right) \sqrt{\frac{12 D \tau}{1 - \varphi_s}}. \quad (2.17)$$

Из графиков, представленных на рис. 2.3 и 2.4, и формул (2.15) и (2.17) видно, что не все пары участвуют в образовании зон ВОК, а только их часть. Доля участия паров в образовании зоны ВОК (2) представляет собой отношение массы паров, участвующих в образовании зоны ВОК, ко всей массе испарившейся жидкости.

После несложных преобразований для второго случая имеем:

$$Z_2 = 1 - \left(\sqrt{\frac{\varphi_H}{\varphi_s}}\right)^2, \quad (2.18)$$

а для третьего случая –

$$Z_3 = \left(\sqrt{\frac{\varphi_B}{\varphi_s}}\right)^2 - \left(\sqrt{\frac{\varphi_H}{\varphi_s}}\right)^2. \quad (2.19)$$

Параметры зоны ВОК при испарении жидкости в неподвижную среду зависят от физико-химических свойств жидкости, ее температуры, продолжительности и площади испарения.

Испарение в движущуюся среду

Испарение в движущуюся среду происходит вследствие молекулярной и конвективной диффузии.

Массу испарившейся жидкости m_{II} , кг, находят из уравнения массопередачи:

$$m_{II} = K_x \cdot F \cdot \Delta\varphi_{CP} \cdot \tau \quad (2.20)$$

где K_x - коэффициент массопередачи, кг/(м²*с); для установившегося процесса испарения $K_x = f(Nu_D, Re, Pr', Gu)$; $\Delta\varphi_{CP}$ - средняя движущая сила процесса массопереноса, об. доли; если принять, что средняя концентрация в

пограничном слое (п. сл.) вблизи поверхности испарения $\varphi_{CP, п. сл.} = \frac{\varphi_s}{3}$ а на достаточно большом удалении от поверхности испарения $\varphi_{h \rightarrow \infty} = 0$, то

$$\Delta\varphi_{CP} = \frac{\varphi_{CP, п. сл.} + \varphi_{h \rightarrow \infty}}{2} = \frac{\frac{\varphi_s}{3} + 0}{2} = \frac{\varphi_s}{6} \quad (2.21)$$

Определение массы испарившейся жидкости в условиях конвективной диффузии с использованием критериальных уравнений связано с достаточно сложными и трудоемкими расчетами и рассматривается в курсе «Теплотехника».

На практике для определения массы испарившейся жидкости m_{II} , кг, целесообразно использовать следующую эмпирическую зависимость:

$$m_{II} = W \cdot F \cdot \tau \quad (2.22)$$

где W - интенсивность испарения, кг/(м²*с); величину W определяют экспериментально; допускается для ненагретых жидкостей (при $t_p \leq t_B$ здесь t_B - температура воздуха) величину W определять по формулам:

$$W = \begin{cases} 10^{-6} \sqrt{M} p_s & \text{для наружных установок} \\ 10^{-6} \eta \sqrt{M} p_s & \text{для помещений} \end{cases}, \quad (2.23)$$

где η - коэффициент, зависящий от температуры и скорости движения воздуха вдоль поверхности испарения и изменяющийся в пределах от 1 до 10; p_s - давление насыщенных паров, кПа.

Размеры зоны ВОК оценивают по формуле (2.2). Иные выражения для определения размеров зон ВОК будут рассмотрены в других главах.

Основные способы обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации открытых аппаратов:

Создание и поддержание безопасных температурных условий эксплуатации:

$$t_p^{БЕЗ} \leq t_{всп} - 35^{\circ}\text{C}. \quad (2.24)$$

Замена открытых аппаратов на аппараты других типов.

Укрывание аппаратов крышками в периоды их простоя.

Замена ЛВЖ и ГЖ на менее горючие (с более высокой $t_{всп}$) или негорючие жидкости.

Применение наиболее рациональной конструкции открытых аппаратов с минимальной поверхностью испарения.

Устройство местных отсосов.

Устройство общеобменной вентиляции.

Вынос аппаратов за пределы помещений.

Примечание. Запрещается использование ЛВЖ в открытых аппаратах для обезжиривания и мойки деталей и узлов машин и аппаратов.

«Дышащие» аппараты

«Дышащие» аппараты с горючими жидкостями широко используются в различных отраслях промышленности в качестве мерников, напорных баков, расходных и промежуточных емкостей, хранилищ. Повышение уровня находящейся в таком аппарате жидкости, увеличение температуры или снижение давления окружающей среды приводит к выходу паровоздушной смеси наружу (явление «выдоха»). После завершения операции опорожнения также наблюдается выход паровоздушной смеси из аппарата наружу, что связано с повышением в нем давления вследствие испарения жидкости и насыщения воздуха парами (явление «обратного выдоха»). Указанные явления часто служат причинами взрывов и пожаров, так как приводят к загазованности помещений и образованию взрывоопасных зон на наружных установках. Выход паров из аппаратов приводит также к загрязнению окружающей среды и к большим экономическим потерям. Например, при заполнении бензином стального вертикального резервуара вместимостью 5000 м³ теряется (в среднем) до 5200 кг паров бензина летом и до 3300 кг зимой, а ежедневные потери бензина вследствие малых дыханий в зависимости от степени заполнения резервуара достигают 40-300 кг.

Необходимо помнить, что зоны ВОК вблизи дыхательных патрубков образуются при выполнении условия $t_p \geq t_{всп(з.т)}$ (где t_p - рабочая температура жидкости; $t_{всп(з.т)}$ - температура вспышки в закрытом тигле) или при выделении из жидкостей растворенных в них горючих газов. Размеры зон ВОК зависят от многих факторов и в первую очередь от количества выходящих из аппарата паров.

Рассмотрим аппарат с дыхательным устройством в начале и конце «большого» дыхания (рис. 2.5). В процессе дыхания из свободного пространства аппарата вместе с воздухом выходят пары горючей жидкости ($\varphi_v + \varphi_{II} = 1$). Примем, что пары равномерно распределены в свободном пространстве аппарата, а их концентрация всегда близка к насыщенной.

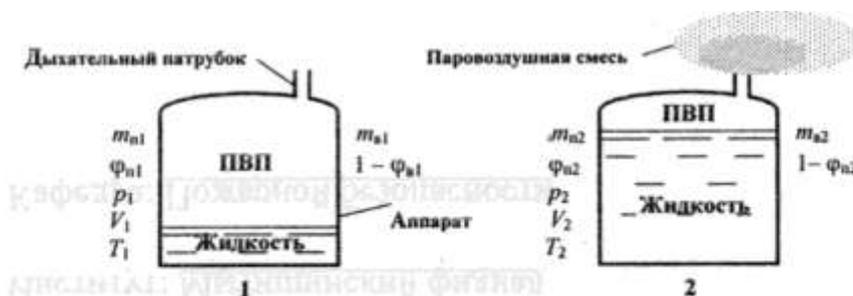


Рис. 2.5. Схема аппарата с дыхательным устройством в начале (1) и конце (2) дыхания

Введем обозначения:

ПВП - паровоздушное пространство;

m - масса компонента в аппарате, кг;

φ - концентрация компонента в аппарате, об. доли;

p - давление, Па;

V - объем паровоздушного пространства, м³;

T - абсолютная температура паровоздушной смеси, К;

M - молекулярная масса компонента, кг/кмоль;

индексы: в - воздух, п - пары; 1 - состояние 1, 2 - состояние 2.

Из уравнения состояния идеального газа определяем массу воздуха в аппарате:

- находящегося в состоянии 1 (см. рис. 2.5):

$$m_{a1} = \frac{p_1 V_1}{RT_1} (1 - \varphi_{n1}) M_a; \quad (2.25)$$

- находящегося в состоянии 2 (см. рис. 2.5):

$$m_{a2} = \frac{p_2 V_2}{RT_2} (1 - \varphi_{n2}) M_a. \quad (2.26)$$

Масса воздуха m_v , кг, вышедшего из аппарата за одно дыхание:

$$m_v = m_{a1} - m_{a2} = \left[\frac{p_1 V_1}{T_1} (1 - \varphi_{n1}) - \frac{p_2 V_2}{T_2} (1 - \varphi_{n2}) \right] \frac{M_a}{R}, \quad (2.27)$$

где R - 8314,31 Дж/(кмоль*К) - универсальная газовая постоянная.

В то же время массу выходящих из аппарата компонентов паровоздушной смеси можно найти из уравнений:

$$\text{- воздуха: } m_s = V_{см} (1 - \bar{\varphi}_n) \rho_s, \quad (2.28)$$

$$\text{- паров: } m_n = V_{см} \bar{\varphi}_n \rho_n, \quad (2.29)$$

где $V_{см}$ - объем паровоздушной смеси, м³; $\bar{\varphi}_n$ - средняя концентрация паров в смеси, об. доли, величину которой определяют по формуле

$$\bar{\varphi}_n = \frac{\varphi_{n1} + \varphi_{n2}}{2},$$

ρ - плотность компонента смеси, кг/м³.

Решая совместно уравнения (2.28) и (2.29), находим

$$m_n = m_s \frac{\bar{\varphi}_n \rho_n}{1 - \bar{\varphi}_n \rho_s}. \quad (2.30)$$

Отношение плотностей в этом выражении можно заменить отношением соответствующих молекулярных масс:

$$\frac{\rho_n}{\rho_s} = \frac{M_n}{M_s}. \quad (2.31)$$

Подставляем значения (2.27) и (2.31) в выражение (2.30) и после сокращений получаем:

$$m_n = \left[\frac{P_1 V_1 (1 - \varphi_{n1})}{T_1} - \frac{P_2 V_2 (1 - \varphi_{n2})}{T_2} \right] \frac{\bar{\varphi}_n M_n}{1 - \bar{\varphi}_n R}. \quad (2.32)$$

Выражение (2.32) называют общим уравнением потерь паров горючих жидкостей из «дышащих» аппаратов.

Первый частный случай: происходит большое дыхание (аппарат заполняется жидкостью). При этом $p_1 = p_2 = p_{бар}$, $T_1 = T_2 = T_p$, $\varphi_{n1} = \varphi_{n2} = \varphi_n$ и

$$m_{nб} = (V_1 - V_2) \frac{p_{бар}}{T_p} \varphi_n \frac{M_n}{R} = V_{ж} \frac{p_{бар}}{T_p} \varphi_n \frac{M_n}{R}, \quad (2.33)$$

где $m_{nб}$ - потери паров при большом дыхании, кг; $V_{ж}$ - объем жидкости, поступающей в аппарат, м³; $p_{бар}$ - атмосферное давление, Па; T_p - рабочая температура жидкости, К.

Второй частный случай: происходит малое дыхание (изменяется температура паровоздушной смеси). При этом $V_1=V_2=V_{св}$, $p_1=p_2=p_{бар}$ и

$$m_{пм} = V_{св} p_{бар} \left(\frac{1 - \varphi_{п1}}{T_1} - \frac{1 - \varphi_{п2}}{T_2} \right) \frac{\bar{\varphi}_n M_n}{1 - \bar{\varphi}_n R}, \quad (2.34)$$

где $m_{пм}$ - потери паров при малом дыхании, кг; $V_{св}$ - свободный объем (объем паровоздушной смеси), м³.

Объем взрывоопасной зоны в помещении, образующейся вблизи дыхательного патрубка, оценивают по формуле (2.2).

При размещении «дышащего» аппарата на наружной установке оценку размеров зоны ВОК необходимо производить с учетом целого ряда факторов, влияющих на мощность выброса и рассеивание паров в атмосфере. Границы зоны ВОК расположены от места выделения горючей смеси из аппарата на расстоянии, которое можно ориентировочно определить по эмпирическим формулам:

- при выходе паровоздушной смеси через дыхательные патрубки подземного железобетонного резервуара с нефтью или нефтепродуктом:

$$X_{НКПР} = 13,1 \left(\frac{Q \varphi_p}{\varphi_n} \right)^{0,667}; \quad (2.35)$$

- при выходе паровоздушной смеси через дыхательные патрубки стального вертикального резервуара с нефтью или нефтепродуктом:

$$X_{НКПР} = \frac{6,8 Q \varphi_p}{U \varphi_n H}. \quad (2.36)$$

Здесь $X_{НКПР}$ - расстояние, ограничивающее область концентраций, превышающих НКПР (длина зоны ВОК), м; a и b - эмпирические коэффициенты (например, для условий устойчивой атмосферы ширина зоны ВОК $Y_{НКПР} = 0,6 X_{НКПР}$. $a = 1,41$ и $b = 0,793$, а для условий неустойчивой атмосферы (при благоприятных условиях для рассеивания) ширина зоны ВОК $Y_{НКПР} = 0,54 X_{НКПР}$, $a = 0,224$ и $b = 0,834$); H - высота источника выброса, м; Q - объемный расход горючей смеси через дыхательный патрубок, м³/с; φ_p - концентрация горючего компонента в смеси, об. доли; φ_n - нижний концентрационный предел распространения пламени, об. доли; U - скорость ветра на высоте 2 м от уровня земли, м/с.

Внедрение на предприятиях мероприятий по сокращению потерь паров ЛВЖ из «дышащих» аппаратов позволяет решить сразу три задачи: снизить пожарную опасность, уменьшить загрязнение окружающей среды и повысить экономическую эффективность производства.

Основные способы обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации «дышащих» аппаратов:

1. Ликвидация или уменьшение паровоздушного пространства. Действительно, из формулы (2.32) видно, что при $V_1 = V_2 = 0$ величина m_{Π} также равна нулю. Основные способы уменьшения или ликвидации паровоздушного пространства были рассмотрены в лекции 1.

2. Установка на дыхательном патрубке аппарата дыхательного клапана для герметизации паровоздушного пространства в периоды простоя аппарата, т. е. в промежутки времени между операциями наполнения или опорожнения. Дыхательный клапан позволяет поддерживать определенное избыточное давление и вакуум в аппарате, обеспечивая минимальные потери летучих компонентов за счет испарения, но не препятствует большим и малым «дыханиям».

Известно множество конструкций дыхательных клапанов, выбираемых в зависимости от назначения аппаратов, их габаритов, конструктивных особенностей, пропускной способности и конкретных условий эксплуатации. На резервуарах для хранения нефти и нефтепродуктов применяются дыхательные клапаны, рассчитанные, исходя из условий прочности и устойчивости конструкций резервуаров, на избыточное давление 2000 Па (200 мм вод. ст.) и вакуум 350 Па (35 мм вод. ст.) - для стальных вертикальных резервуаров или избыточное давление 1000 Па (100 мм вод. ст.) - для железобетонных резервуаров.

На рис. 2.6 и 2.7 показаны непримерзающие дыхательные клапаны. В корпусе дыхательного клапана типа ДК (см. рис. 2.6) расположены два клапанных затвора: один для работы на давление (верхний), другой - на вакуум (нижний). Для создания непримерзающих поверхностей тарелки и седла клапана в местах касания покрыты фторопластом, направляющие втулки и штоки клапана также защищены фторопластом. Клапан работает следующим образом: при превышении избыточного давления внутри резервуара выше установочного (допустимого) значения открывается верхний клапан, при образовании вакуума, превышающего установочное значение, - нижний клапан. В первом случае паровоздушная смесь из резервуара сбрасывается в атмосферу (или дыхательную линию), во втором - воздух поступает в резервуар. Как только давление (или вакуум) в резервуаре восстановится до допустимого значения, соответствующий клапан под действием силы тяжести опускается и его тарелка прижимается к седлу. Величина установочного давления (вакуума) в резервуаре регулируется весом самого клапана и груза.

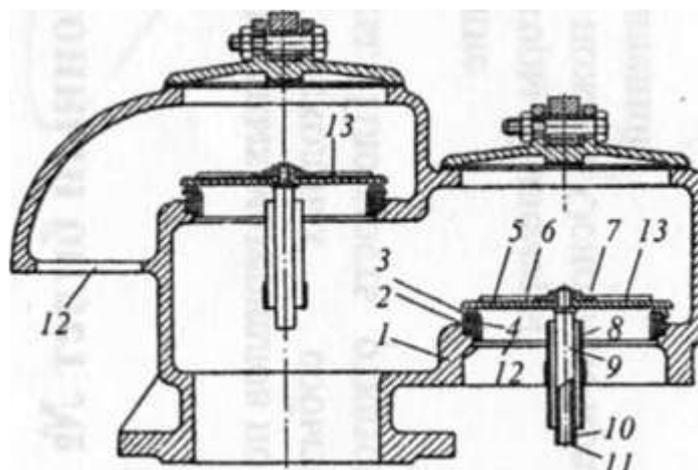


Рис. 2.6. Немерзающий дыхательный клапан типа ДК: 1 - корпус; 2 - кольцо; 3 - седло; 4, 6 и 10 - фторопластовые покрытия; 5 - тарелка; 7 - гайка; 8 - направляющая фторопластовая втулка; 9 - шток; 11 - стержень; 12 - сетка; 13 - грузы

Клапаны типа НДКМ (см. рис. 2.7) отличаются от клапанов типа ДК не только конструктивным исполнением, но и большей (в 2-3 раза) пропускной способностью при одинаковом диаметре патрубка, что позволяет сократить число клапанов, устанавливаемых на резервуаре.

3. Установка диска-отражателя под дыхательным патрубком (рис. 2.8) позволяет избежать интенсивного перемешивания паровоздушной смеси со свежим воздухом, поступающим в резервуар при сливе жидкости. Последующее наполнение резервуара приводит к выходу из него смеси с концентрацией паров значительно ниже насыщенной (из уравнения (2.32) видно, что при $\varphi_{II} \rightarrow 0$ величина m_{II} также стремится к нулю).

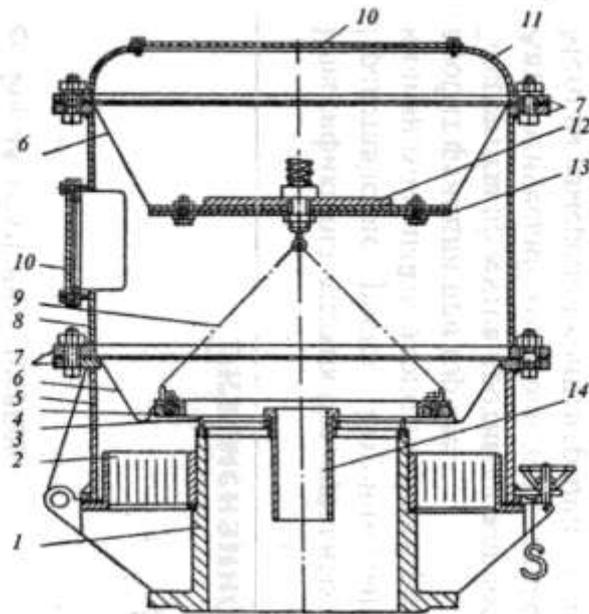


Рис. 2.7. Не примерзающий дыхательный клапан типа НДКМ:
 1 – присоединительный патрубок; 2 – огнепреградительная кассета; 3 – седло;
 4 – тарельчатый затвор; 5 – нижний корпус; 6 – мембраны; 7 – фланцы;
 8 – верхний корпус; 9 – цепи; 10 – локи; 11 – крышка; 12 – сменные диски;
 13 – диски; 14 – импульсная трубка



Рис. 2.8. Схема работы диска-отражателя при опорожнении резервуара:

1 – крыша резервуара; 2 – дыхательный патрубок;
 3 – диск-отражатель; 4 – корпус;

← направление движения поверхности жидкости;
 ←- - - - направление движения воздуха

4. Хранение горючих жидкостей в герметичных аппаратах под избыточным давлением. Потери паров будут равны нулю, если заключенные в квадратные скобки члены уравнения (2.32) равны между собой:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} (1 - \varphi_{n1}) = \frac{P_2 V_2}{T_2} (1 - \varphi_{n2}).$$

Отсюда можно определить величину давления в аппарате, создаваемого с помощью дыхательного клапана, при котором паровоздушная смесь не будет выходить наружу:

$$P_2 = P_1 \frac{V_1(1-\varphi_{n1}) T_2}{V_2(1-\varphi_{n2}) T_1} \quad (2.37)$$

Рабочее давление в горизонтальных цилиндрических и сферических резервуарах, предназначенных для хранения жидкостей с высокой упругостью насыщенных паров, обычно превышает 0,2-0,3 МПа.

5. Устройство газоуравнительной системы (ГУС) (рис. 2.9). С помощью трубопроводов паровоздушные пространства двух или большего количества аппаратов (резервуаров) с идентичными продуктами соединяются в общую систему. Наибольший эффект при работе ГУС достигается в том случае, когда аппараты работают в противофазе: один из аппаратов наполняется определенным объемом жидкости, а другой - опорожняется от такого же количества жидкости. При несоответствии расходов необходимо устройство газосборника 4 или свечи.

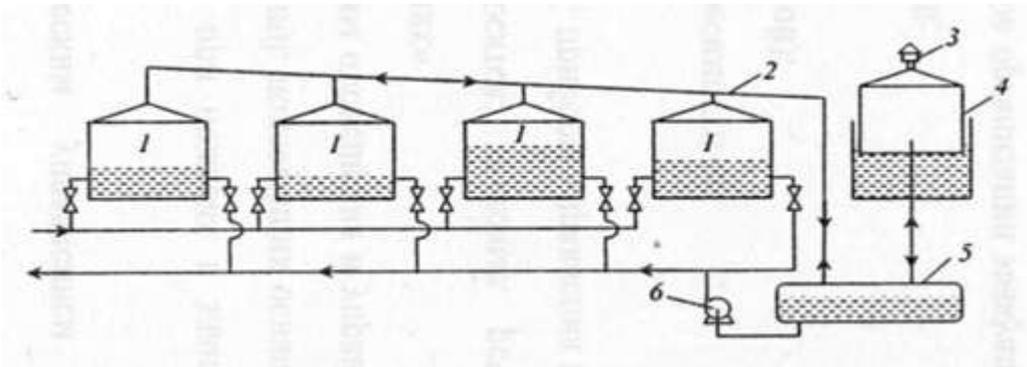


Рис. 2.9. Схема газоуравнительной системы: 1 - резервуары; 2 - газопровод; 3 - предохранительный клапан; 4 - газгольдер; 5 - сборник конденсата; 6 - насос

6. Частичная конденсация пара в концевом обратном холодильнике (рис. 2.10). Пары горючей жидкости, содержащиеся в выдыхаемой из аппарата 3 паровоздушной смеси, при прохождении через холодильник 2 частично конденсируются и стекают в аппарат. Остаточная концентрация пара в выходящей из дыхательной линии смеси определяется температурой хладоносителя (в данном случае воды).

7. Защита от воздействия внешних источников тепла на оборудование с помощью теплоизоляции, солнцезащитных экранов, орошения аппаратов водой, теплоотражающих красок.

8. Вывод дыхательных труб за пределы помещений с предотвращением сброса паровоздушных смесей в зону аэродинамической тени.

9. Использование абсорберов и адсорберов для улавливания паров из выдыхаемых паровоздушных смесей.

10. Приостановка операции наполнения резервуара при неблагоприятных атмосферных условиях, способствующих скоплению паров в приземном слое, и при интенсивной грозовой деятельности.

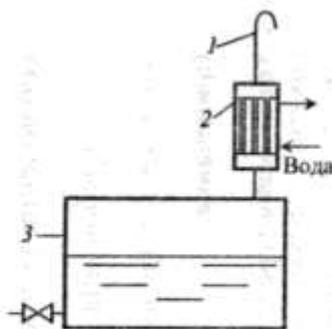


Рис. 2.10. Схема установки концевого обратного холодильника:
1 – дыхательная линия; 2 – обратный холодильник; 3 – аппарат

Пожарная опасность выхода горючих пылей из аппаратов и способы обеспечения пожарной безопасности

Особенностью эксплуатации производств, в которых обращаются горючие пыли или волокна, по сравнению с производствами, в которых обращаются горючие газы или жидкости, является способность пылей и волокон оседать на различных поверхностях, что приводит к их постепенному накоплению в помещениях.

Массу выделяющихся в помещение пылевидных или волокнистых материалов независимо от типа используемого оборудования можно оценить из материального баланса аппарата или производства в целом:

$$\sum m_{in} - \sum m_{ip} = m_{ном} \quad (2.38)$$

Где $\sum m_{in}$ и $\sum m_{ip}$ - масса i -х материалов, поступающих на переработку(приход) и масса i -х материалов, получающихся в результате переработки (расход), кг; $m_{ном}$ — потери пылевидных материалов, кг.

Интенсивность выделения пыли из оборудования можно найти из выражения

$$G_{п} = \frac{m_{пот}}{\tau}, \quad (2.39)$$

где $G_{п}$ - интенсивность выделения пыли из оборудования, кг/с; τ - период эксплуатации оборудования, с.

Потери пылевидных материалов (или пылевидные отходы) участвуют в образовании отложений пыли в помещении. Объем возможной зоны ВОК при взвихрении всей осевшей пыли можно оценить по формуле

$$V_{вок} = \frac{m_{вз}}{\Phi_{п}} K_{6,п}, \quad (2.40)$$

где $m_{вз}$ - масса взвихрившейся пыли, кг;

$$m_{вз} = K_{вз} m_{п}, \quad (2.41)$$

где $K_{вз}$ - доля отложившейся в помещении пыли, способной перейти во взвешенное состояние; при отсутствии данных допускается принимать $K_{вз} = 0,9$; $m_{п}$ - масса отложившейся в помещении горючей пыли к моменту ее взвихрения, кг;

$$m_{п} = \frac{K_{г}}{K_{у}} \sum_{i=1}^2 m_i, \quad (2.42)$$

где $K_{г}$ - массовая доля горючей пыли в общей массе отложений пыли; $K_{у}$ - коэффициент эффективности пылеуборки, который допускается принимать:

- при ручной сухой уборке $K_{у} = 0,6$;
- при ручной влажной уборке $K_{у} = 0,7$;
- при механизированной вакуумной уборке $K_{у} = 0,9$ для ровного пола и $K_{у} = 0,7$ для пола с выбоинами;

m_i - масса пыли, оседающей на труднодоступных ($i = 1$) и доступных ($i = 2$) для уборки поверхностях, кг;

$$\begin{aligned} m_1 &= G_{п} \tau_{ген} (1-\alpha); \\ m_2 &= G_{п} \tau_{тек} (1-\alpha), \end{aligned} \quad (2.43)$$

где $\tau_{ген}$ - период времени между генеральными пылеуборками, с; $\tau_{тек}$ - период времени между текущими пылеуборками, с; α - доля выделяющейся в помещение пыли, которая удаляется вытяжными вентиляционными системами. При отсутствии экспериментальных данных принимают $\alpha = 0$.

Открытые аппараты

К открытым аппаратам относится следующее оборудование:

- конвейеры (скребковые, пластинчатые, ленточные и др.);
- ванны для нанесения порошковых покрытий на изделия;
- оборудование для обработки, шлифования и полирования деталей из металлов, древесины, пластических масс, лакированных или окрашенных изделий;
- бункеры, сборники и лотки для приема измельченных материалов;
- тара для переработки, фасовки и хранения красителей, сажи, измельченной серы, муки, сахарной пудры, порошка какао и других пылевидных материалов и продуктов в химической, резинотехнической, хлебопекарной, кондитерской и других отраслях промышленности.

Основные способы обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации открытых аппаратов с порошками, пылевидными материалами или волокнами:

1. Замена процессов на менее пылящие или непылящие.
2. Герметизация оборудования.
3. Устройство местных отсосов и общеобменной вентиляции.
4. Периодическая уборка помещений от отложений пыли или волокон.
5. Укрывание аппаратов крышками при транспортировании или в периоды простоя.
6. Ограничение скорости транспортирования или движения воздуха вдоль поверхности пылевидного материала ниже скорости витания.

«Дышащие» аппараты

К «дышащим» аппаратам относятся сборники, бункеры, силосы и хранилища кусковых, зернистых и пылевидных материалов; аппараты для переработки и обработки твердых компактных, кусковых, пылевидных и волокнистых материалов (мельницы, дробилки, классификаторы, разрыхлители) и тому подобное оборудование.

Основные способы обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации «дышащих» аппаратов:

1. Замена пылящих процессов на менее или на непылящие процессы (например, замена шаровых мельниц на вибрационные или использование мокрых методов размола).
2. Герметизация оборудования.
3. Устройство местных отсосов из аппаратов и общеобменной вентиляции.
4. Периодическая уборка помещений от отложений пыли или волокон.
5. Вынос циклонов, рукавных фильтров, сепараторов, сборников измельченных и пылевидных отходов и другого оборудования за пределы помещений.

Герметичные аппараты

Это аппараты того же назначения, что и «дышащие», но работающие под давлением или вакуумом или имеющие герметизированные системы загрузки и выгрузки продукции. К герметичному оборудованию относятся: распыливающие сушилки, сушилки кипящего слоя (КС), трубы-сушилки, реакторы и регенераторы с зернистым и пылевидным катализатором, непрерывно действующие адсорберы с зернистым и пылевидным адсорбентом и другое подобное оборудование, а также системы пневмотранспорта. Из герметичного оборудования выделяется значительно меньше пылей и волокон, чем из открытых и «дышащих» аппаратов.

Основные способы обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации герметичных аппаратов с пылевидными и волокнистыми материалами:

1. Устройство общеобменной вентиляции.
2. Периодическая уборка помещений от отложений пыли или волокон.
3. Проведение технологических процессов под разрежением.
4. Размещение оборудования на открытых площадках.

Пожарная опасность периодически действующих аппаратов и способы обеспечения пожарной безопасности

К периодически действующим относятся: аппараты, периодически открываемые для загрузки сырья и выгрузки продукции, растворители смол, клеемешалки, смесители, экстракторы, автоклавы, нутч-фильтры, фильтр-прессы и др. Работа таких аппаратов характеризуется цикличностью. Количество выходящих наружу горючих веществ из периодически действующих аппаратов рассмотрим на примере работы клеемешалки.

В аппарат загружают растворитель, каучук и другие ингредиенты, закрывают крышку, включают мешалку и обогрев для ускорения растворения твердых компонентов в растворителе. Когда компоненты растворятся и равномерно перемешаются, выключают мешалку и включают охлаждение клеемешалки. После завершения охлаждения открывают крышку, аппарат опрокидывают и полученную вязкую клеевую массу выгружают в приемники готовой продукции. Цикл работы клеемешалки состоит из следующих операций: загрузки сырья, перемешивания, нагрева, охлаждения, выгрузки продукта, подготовки аппарата к загрузке сырья. При загрузке сырья (большое дыхание), в процессе нагрева (малое дыхание), при открывании крышки клеемешалки (сброс избыточного давления), при выгрузке клея и подготовке аппарата (испарение растворителя из клея и со стенок аппарата) происходит выход паров растворителя из аппарата наружу.

Таким образом, общее количество паров растворителя m , кг, выходящих наружу из аппарата, можно найти из выражения

$$m = m_{ПБ} + m_{ПМ} + m_{ПВ} + m_{И}, \quad (2.44)$$

где $m_{ПБ}$ - количество паров, выходящих из аппарата при его заполнении, кг; $m_{ПМ}$ - количество паров, выходящих из аппарата при нагревании смеси, кг; $m_{ПВ}$ - количество паров, выходящих из аппарата при открывании крышки, кг; $m_{И}$ - количество паров, выходящих из аппарата при испарении растворителя, кг.

Величины $m_{ПБ}$, $m_{ПМ}$, $m_{И}$ были определены ранее.

Величину $m_{ПВ}$, кг, можно найти из общего уравнения потерь паров горючих жидкостей из «дышащих» аппаратов (2.30) как частный случай при следующих условиях:

$$V_1 = V_2 = V_{\text{св}}, \quad p_1 = p_p, \quad p_2 = p_{\text{свп}}, \quad T_1 = T_2 = T_p \quad \text{и} \quad \varphi_{n1} = \varphi_{n2} = \varphi_n.$$

Тогда

$$m_{\text{НВ}} = V_{\text{св}} \frac{\varphi_{\text{Н}}}{T_p} (p_p - p_{\text{свп}}) \frac{M_{\text{Н}}}{R} \quad (2.45)$$

Основные способы обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации периодически действующих аппаратов:

1. Замена периодически действующих аппаратов на непрерывно действующие.
2. Герметизация загрузочных и разгрузочных операций.
3. Снижение температуры среды в аппарате перед началом разгрузки.
4. Сброс избыточного давления среды из аппарата в дыхательную линию перед открыванием крышки.
5. Устройство концевого обратного холодильника.
6. Вывод дыхательных труб за пределы помещений.

Контрольные вопросы

1. В каких случаях в открытых и «дышащих» аппаратах могут образовываться и выделяться наружу горючие газы?
2. Как определить массу выделяющегося водорода при зарядке аккумулятора?
3. Определите массу выделяющегося ацетилена при взаимодействии 1 кг карбида кальция с водой.
4. Как оценить объем зоны ВОК вблизи места выделения горючего газа?
5. Перечислите основные способы обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации в производственных помещениях открытых и «дышащих» аппаратов, из которых возможно выделение горючих газов.
6. Перечислите основные способы обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации на наружных установках открытых и «дышащих» аппаратов, из которых возможно выделение горючих газов.
7. По каким причинам происходят утечки горючих газов (перегретых паров) из нормально работающих герметичных аппаратов?
8. Какие факторы влияют на интенсивность утечек горючих газов (перегретых паров) из нормально работающих герметичных аппаратов?
9. Как определить концентрацию горючего газа в производственном помещении при отсутствии воздухообмена?
10. Как определить концентрацию горючего газа в производственном помещении при наличии воздухообмена?
11. Как найти предельно допустимую взрывобезопасную концентрацию горючего газа в производственном помещении?

12. Способствует ли выполнение требований промсанитарии обеспечению пожарной безопасности?

13. Перечислите основные способы обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации герметичных аппаратов с горючими газами.

14. Приведите примеры использования в промышленности открытых аппаратов с легко воспламеняющимися и горючими жидкостями.

15. При каком условии над поверхностью горючей жидкости может образоваться зона ВОК?

16. Как распределяется концентрация паров над поверхностью горючей жидкости при испарении в неподвижную среду?

17. Чему равна средняя концентрация паров над поверхностью испаряющейся в неподвижную среду горючей жидкости?

18. Поясните величины, входящие в формулу для определения массы испаряющейся горючей жидкости в неподвижную среду, и укажите область ее применения.

19. Покажите на графике $\varphi = f(\tau, h)$ вид зоны ВОК над поверхностью испаряющейся в неподвижную среду горючей жидкости при $\varphi_H \leq \varphi_S \leq \varphi_B$.

20. Покажите на графике $\varphi = f(\tau, h)$ вид зоны ВОК над поверхностью испаряющейся в неподвижную среду горючей жидкости при $\varphi_S > \varphi_B$.

21. Поясните, каким образом можно определить объем зоны ВОК при испарении горючей жидкости в неподвижную среду?

22. Что подразумевает термин «доля участия горючих паров в образовании зоны ВОК»?

23. Как определить долю участия горючих паров в образовании зоны ВОК при $\varphi_H \leq \varphi_S \leq \varphi_B$?

24. Как определить долю участия горючих паров в образовании зоны ВОК при $\varphi_S > \varphi_B$?

25. От чего зависят параметры зон ВОК при испарении горючей жидкости в неподвижную среду?

26. Вследствие чего происходит испарение жидкости в движущуюся среду?

27. Поясните величины, входящие в уравнение массопередачи.

28. Чему равна средняя движущая сила процесса массопереноса?

29. Поясните величины, входящие в эмпирическую зависимость для определения массы испарившейся жидкости.

30. Перечислите основные способы обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации открытых аппаратов с горючими жидкостями.

31. Приведите примеры «дышащих» аппаратов с горючими жидкостями и поясните, почему паровоздушная смесь из них выходит наружу?

32. К каким последствиям приводит выход паровоздушной смеси наружу из «дышащего» аппарата?

33. При каком условии вблизи дыхательного патрубка может образоваться зона ВОК?

34. Выведите общее уравнение потерь паров горючих жидкостей из «дышащих» аппаратов.

35. Выведите уравнение потерь паров горючих жидкостей из «дышащих» аппаратов при больших дыханиях.

36. Выведите уравнение потерь паров горючих жидкостей из «дышащих» аппаратов при малых дыханиях.

37. От каких факторов зависит объем зоны ВОК, образующейся при эксплуатации резервуара с горючей жидкостью?

38. Перечислите способы обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации «дышащих» аппаратов.

39. Для чего служит дыхательный клапан?

40. Как устроен и работает дыхательный клапан ДК?

41. Как устроен и работает дыхательный клапан НДКМ?

42. Поясните, почему установка дисков-отражателей в резервуарах позволяет снизить потери паров?

43. Как устроена и работает газоуравнительная система?

44. Поясните сущность работы концевого обратного холодильника.

45. Укажите особенности эксплуатации производств, в которых обращаются горючие пыли или волокна, по сравнению с производствами, в которых обращаются горючие газы или жидкости.

46. Чем опасны потери пылевидных материалов при работе технологического оборудования?

47. Перечислите виды и основные способы уборки отложений пыли или волокон в помещениях.

48. Перечислите основные способы обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации открытых аппаратов с порошками, пылевидными материалами или волокнами.

49. Перечислите основные способы обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации «дышащих» аппаратов с порошками, пылевидными материалами или волокнами.

50. Перечислите основные способы обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации герметичных аппаратов с порошками, пылевидными материалами или волокнами.

51. Укажите причины выхода горючих веществ из периодически действующих аппаратов.

52. Как определить количество паров, выходящих из работающего под давлением аппарата при открывании крышки?

53. Перечислите основные способы обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации периодически действующих аппаратов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пожарная безопасность технологических процессов: Рабочая программа. - М.: Академия ГПС МЧС России, 2003.

2. ГОСТ Р 12.3.047-98 Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.

3.ППБ 01-03 Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.

4.НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

5.Алексеев М.В., Волков О.М., Шатров Н.Ф. Пожарная профилактика технологических процессов производств. - М.: ВИПТШ МВД СССР, 1985.

6.Горячев С.А., Клубань В.С. Задачник по курсу «Пожарная профилактика технологических процессов». - М.: ВИПТШ МВД РФ, 1996.

Лекция3

ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ ВЫХОДА ГОРЮЧИХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ПОВРЕЖДЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Классификация аварий и повреждений технологического оборудования на производственных объектах

Наиболее пожаровзрывоопасная ситуация на производственных объектах, способная привести в том числе к катастрофическим последствиям, возникает в случае аварийного выхода горючих веществ из технологического оборудования.

Выход горючего вещества из поврежденного технологического оборудования приводит, как правило, к образованию пожаро- или взрывоопасной зоны и при наличии источника зажигания - к воспламенению горючего вещества или взрыву горючей смеси, пожару на производственном объекте.

Под *аварией* (в наиболее широком толковании этого термина) понимают разрушение сооружений и/или технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, неконтролируемый взрыв и/или выброс опасных веществ.

В зависимости от возможных последствий аварии на производственных объектах в соответствии с ГОСТ Р 12.3.047-98 классифицируются как:

крупная авария - авария, при которой гибнет не менее десяти человек;

проектная авария - авария, для которой обеспечение заданного уровня безопасности гарантируется предусмотренными в проекте промышленного предприятия системами обеспечения безопасности по ГОСТ 12.1.004-91;

максимальная проектная авария — проектная авария с наиболее тяжелыми последствиями (гибель более десяти человек, значительный материальный или экологический ущерб).

Локальное повреждение технологического оборудования - образование трещин, сквозных отверстий от коррозии, прогаров теплообменной поверхности, нарушение целостности фланцевых соединений и т. п. - приводит к выходу продукта под давлением в виде струй пара, газа или жидкости.

Полное разрушение технологического оборудования (аппарата, резервуара, железнодорожной цистерны, мерника, отстойника, циклона и т. п.) или трубопровода характеризуется выходом всего содержимого в производственное помещение или на территорию открытой установки.

Статистика чрезвычайных ситуаций, аварий и пожаров, происшедших на производственных объектах вследствие воспламенения горючих парогазовоздушных смесей, свидетельствует о том, что пожар может развиваться по эффекту «домино», когда в аварийную ситуацию дополнительно вовлекаются соседние сооружения предприятий, а также здания и сооружения жилой застройки (при расположении объекта на селитебной территории), что приводит к значительному материальному ущербу, травмам и гибели людей.

Необходимым условием для реальной оценки масштабов последствий чрезвычайных ситуаций, которые могут возникнуть на производственных объектах, и разработки мероприятий противопожарной защиты является количественный анализ опасности среды в зоне выхода горючих веществ из поврежденного технологического оборудования.

Определение количества горючих веществ, выходящих наружу при локальном повреждении технологического оборудования.

Аппарат с горючей жидкостью

Массу выходящей наружу жидкости при локальном повреждении аппарата m , определяют по формуле

$$m_s = \alpha f w \rho_i \tau, \quad (3.1)$$

где α - коэффициент расхода, изменяющийся в пределах 0,45-0,85 (при истечении жидкостей, вязкость которых составляет 0,5-1,5 МПа*с, через отверстие круглой формы в тонких стенках, можно принимать $\alpha = 0,64$); f - сечение отверстия, через которое вещество выходит наружу, м²; w - скорость истечения вещества из отверстия, м/с; ρ_i - плотность вещества, кг/м³; τ - длительность истечения, с.

Скорость истечения жидкости через отверстие в трубопроводе или корпусе аппарата при постоянном давлении вычисляют по формуле

$$w = \sqrt{2gH_{np}}, \quad (3.2)$$

где $g=9,81 \text{ м/с}^2$ - ускорение силы тяжести; H_{np} - приведенный напор, под действием которого происходит истечение жидкости через отверстие, м.

При истечении жидкости самотеком $H_{np} = H$ (здесь H - высота столба жидкости, м); при работе аппарата под давлением

$$H_{\text{пр}} = \frac{P_{p.и}}{\rho_{ж}g} + H, \quad (3.3)$$

где $p_{p.и}$ избыточное давление среды в аппарате над поверхностью жидкости, Па ($p_{p.и} = p_p - 10^5$ Па; здесь p_p - абсолютное рабочее давление среды в аппарате, Па); $\rho_{ж}$ - плотность жидкости при рабочей температуре, кг/м³.

Длительность истечения t определяется расчетным временем отключения аппаратов и трубопроводов в каждом конкретном случае, исходя из реальной обстановки с учетом паспортных данных на запорные устройства, характера технологического процесса и вида расчетной аварии.

В соответствии с НПБ 105 - 03 расчетное время отключения трубопроводов следует принимать равным:

- времени срабатывания системы автоматики отключения трубопроводов согласно паспортным данным установки, если вероятность отказа системы автоматики не превышает $1 \cdot 10^{-6}$ /год или обеспечено резервирование ее элементов;

- 120 с, если вероятность отказа системы автоматики превышает $1 \cdot 10^{-6}$ /год и не обеспечено резервирование ее элементов;

- 300 с при ручном отключении.

Под «временем срабатывания» и «временем отключения» понимают промежуток времени от начала возможного поступления горючего вещества из трубопровода (перфорация, разрыв, изменение номинального давления и т. п.) до полного прекращения поступления горючего вещества в помещение или на территорию открытой установки.

Выход горючей жидкости из поврежденного оборудования приводит к ее разливу на полу помещения или на производственной площадке наружной технологической установки. Испарение жидкости с поверхности разлива S_p может привести к образованию зоны взрывоопасных концентраций.

Площадь разлива S_p горючих жидкостей на полу производственных помещений при локальном повреждении оборудования определяют из расчета, что 1 л смесей и растворов, содержащих 70 % и менее (по массе) растворителей, разливается на площади 0,5 м², а остальных жидкостей - на 1 м² пола помещения.

На горизонтальных поверхностях наружных производственных площадок площадь разлива определяется из расчета, что 1 л смесей и растворов, содержащих 70 % и менее (по массе) растворителей, разливается на площади 0,10 м², а остальных жидкостей - на 0,15 м².

Площадь испарения жидкости $F_{и}$ принимают из условий

- для помещения

$$F_{и} = \min[S_p; F_n];$$

- для наружной установки

$$F_u = \min[S_p; F_6],$$

где F_{II} - площадь пола производственного помещения, м²; F_6 - площадь, ограниченная бортиками, обвалованием и т. д., за пределы которых не происходит разлив жидкости, м².

Длительность испарения жидкости τ_{II} принимают равной времени ее полного испарения, но не более 3600 с, т. е.

$$\tau_{II} = \min\left[\frac{m_{II}}{WF_u}; 3600 \text{ с}\right], \quad (3.4)$$

где W - интенсивность испарения, кг/(с*м²).

Интенсивность испарения W находят по справочной литературе или определяют экспериментально. Для ненагретых выше температуры окружающей среды жидкостей при отсутствии данных допускается рассчитывать W по формуле

$$W = 1 \cdot 10^{-6} \eta \sqrt{M} p_n, \quad (3.5)$$

где η - коэффициент, учитывающий скорость и температуру воздушного потока в производственном помещении над поверхностью испарения; M - молекулярная масса вещества, кг/кмоль; p_n - давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости, кПа.

Табл

Скорость воздушного потока в помещении U , м/с	Значение коэффициента η при температуре t , °С, воздуха в помещении				
	10	15	20	30	35
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1	3,0	2,6	2,4	1,8	1,6
0,2	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3
0,5	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2

Численное значение коэффициента η определяют по табл. 3.1.

Скорость движения воздуха вдоль поверхности жидкости определяют экспериментально или рассчитывают по формуле

$$U = A_B l / 3600, \quad (3.6)$$

где A_B - кратность аварийной вентиляции, 1/ч (определяется в соответствии с технологическим регламентом); l - длина помещения, м.

Давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости определяют по справочным данным, при их отсутствии допускается рассчитывать по формуле Антуана

$$\lg p_u = A - B/(C_A + t_{ж}), \quad (3.7)$$

где A , B , C_A - константы уравнения Антуана; $t_{ж}$ - расчетная температура жидкости, °С, определяемая из выражения

$$t_{ж} = 0,5(t_p + t_B), \quad (3.8)$$

где t_p - рабочая температура жидкости в аппарате, °С (принимается в соответствии с технологическим регламентом); (t_B - максимально возможная температура воздуха в помещении в соответствии с климатической зоной или максимально возможная температура воздуха по технологическому регламенту с учетом возможного повышения температуры в аварийной ситуации. При отсутствии данных t_B допускается принимать ее равной 61 °С.

Масса паров жидкости m_{II} , которая будет участвовать в образовании зоны взрывоопасных концентраций, рассчитывается по формуле

$$m_{II} = W F_u T. \quad (3.9)$$

Аппарат с горючим газом

Массу выходящего наружу газа при локальном повреждении аппарата m_{II} определяют по формуле (3.1). Скорость истечения перегретого пара или газа через отверстие зависит от режима истечения и определяется по следующим формулам:

- для докритического режима истечения, когда $p_c > p_{кр}$

$$w_{докр} = \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{R}{M} (t_p + 273) \left[1 - \left(\frac{p_c}{p_p} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}; \quad (3.10)$$

- для критического режима истечения, когда $p_c \leq p_{кр}$

$$w_{кр} = \sqrt{\frac{2k}{k+1} \frac{R}{M} (t_p + 273)}, \quad (3.11)$$

где p_c - давление окружающей среды, в которую происходит истечение газов, Па (обычно $p_c = p_{бар}$); $p_{кр}$ - критическое давление, определяемое из выражения

$$p_{кр} = p_p \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}, \quad (3.12)$$

где κ - показатель адиабаты; R - универсальная газовая постоянная ($R = 8314,31$ Дж/(кмоль*К).

Определение количества горючих веществ, выходящих наружу при полном разрушении технологического оборудования

Аппарат с горючей жидкостью или сжиженным газом

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

$$m_n = m_{an} + m_{тp1} + m_{тp2}, \quad (3.13)$$

где m_{an} - масса веществ, выходящих из разрушенного аппарата, кг; $m_{тp1}$ и $m_{тp2}$ - масса веществ, выходящих из трубопроводов соответственно до момента отключения задвижек или других запорных устройств (1) и после их закрытия (2), кг.

Для аппаратов с жидкостями или сжиженными газами массу горючих веществ (после преобразования выражения (3.13)) определяют по формуле

$$m_n = (V_{an}\varepsilon + \sum_{i=1}^n q_i \tau_i + \sum_{j=1}^k l_{jnp} f_{jnp}) \rho_{ж}, \quad (3.14)$$

где V_{an} - геометрический внутренний объем аппарата, м³; ε - степень (коэффициент) заполнения аппарата; q - производительность i -го насоса или пропускная способность i -го трубопровода, питающего аппарат, м³/с; τ_i - продолжительность отключения i -го побудителя расхода, с; n - число побудителей расхода, питающих аппарат; l_{jnp} и f_{jnp} - соответственно длина, м, и сечение, м², j -го участка трубопровода (от аварийного аппарата до запорного устройства), из которого происходит истечение жидкости сжиженного газа, м; k - число участков трубопроводов, примыкающих к аварийному аппарату; $\rho_{ж}$ - плотность жидкости при рабочей температуре среды в аппарате, кг/м³.

При полном разрушении технологического оборудования в производственном помещении площадь испарения жидкости определяют по формулам, приведенным в § 3.2.1.

При полном разрушении крупногабаритного технологического сооружения на открытой производственной площадке, например, вертикального стального резервуара, площадь разлива жидкости зависит не только от объема разлившейся жидкости, но и от уклона рельефа местности.

Анализ статистических данных пожаров и аварий, связанных с полным разрушением вертикальных стальных резервуаров, а также результаты экспериментов, проведенных на кафедре ПБТП, по определению площади разлива жидкостей при квазимгновенном разрушении оборудования позволили установить зависимость для определения площади разлива нефти и нефтепродуктов при полном разрушении резервуаров типа РВС вместимостью от 500 до 50 000 м³:

$$S_p = 260000[0,3326 (x_1, x_2)^2 + 1,5520x_1^2x_2x_3], \quad (3.15)$$

где S_p - прогнозируемая площадь разлива жидкости, m^2 ; $x_1=f_1(d_p)$, $x_2=f_2(h_{жс})$, $x_3=f_3(i)$ - переменные, зависящие от диаметра аварийного резервуара, высоты уровня жидкости в резервуаре до аварии ($h_{жс}>0,5H_p$, где H_p - высота резервуара, м) и гидравлического уклона рельефа местности, изменяемого в диапазоне от 0,01 до 0,07, соответственно.

На рис. 3.1, а, б представлены номограммы для определения прогнозируемой площади разлива жидкости в случае полного разрушения вертикальных стальных резервуаров при степени их заполнения $\varepsilon = 0,95$ в зависимости от уклона рельефа местности, построенные по формуле (3.15).

Изменение уклона рельефа местности приводит к изменению формы площади разлива и зоны возможного затопления. Под *зоной возможного затопления* понимается участок территории объекта и прилегающей к нему местности, в пределах которой может разлиться жидкость из полностью заполненного резервуара. *Границей зоны возможного затопления* служит условная линия, ограничивающая эту зону, за пределы которой с ожидаемой вероятностью, принятой равной 0,95, не произойдет разлив жидкости из разрушившегося вертикального стального резервуара.

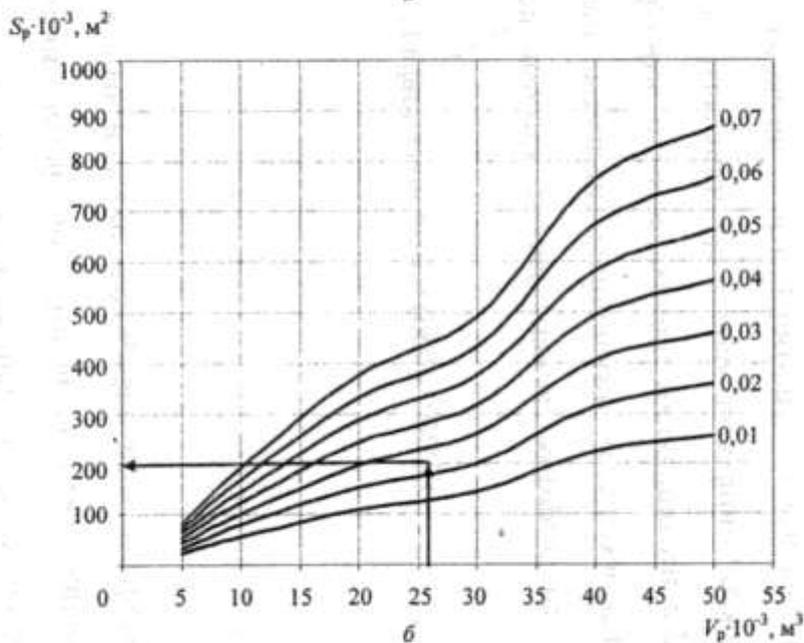
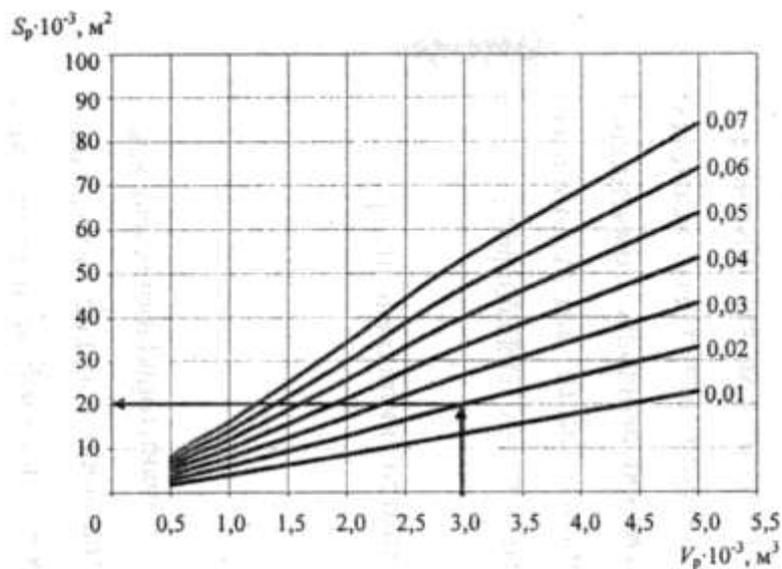


Рис. 3.1. Номограммы для определения прогнозируемой площади разлива жидкости (пожара разлива) в зависимости от уклона рельефа местности и объема резервуара

На рис. 3.2, а, б представлены схемы для определения формы площади разлива жидкости и зоны возможного затопления при различных уклонах рельефа местности, где S_p - площадь разлива жидкости; S_3 - площадь зоны возможного затопления; $R_{гр}$ - радиус площади разлива; R_3 - радиус зоны возможного затопления; $L_{см}$ - расстояние от центра аварийного резервуара до центра окружности, ограничивающей площадь разлива; L_{max} - максимальное расстояние от центра аварийного резервуара до границы зеркала разлива жидкости по направлению максимального уклона рельефа местности; A, B, L - характерные размеры, определяющие зону возможного затопления.

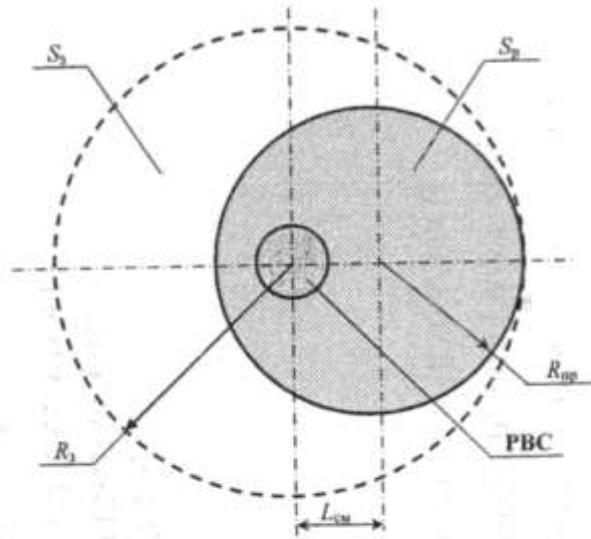
Таким образом, на производственных площадках с уклоном рельефа местности от 0,010 до 0,015 включительно площадь разлива жидкости близка к форме круга, центр которого смещен на расстояние $L_{см}$ относительно центра аварийного РВС в сторону направления потока жидкости, что обусловлено действием реактивной силы

потока, образующегося при полном разрушении резервуара. На площадках с уклоном от 0,015 до 0,030 - площадь разлива жидкости в направлении максимального уклона рельефа местности напоминает форму полукруга с примыкающей к нему трапецией. На площадках с уклоном от 0,030 до 0,070 форма разлива аналогична предыдущей, однако трапеция имеет более вытянутую форму.

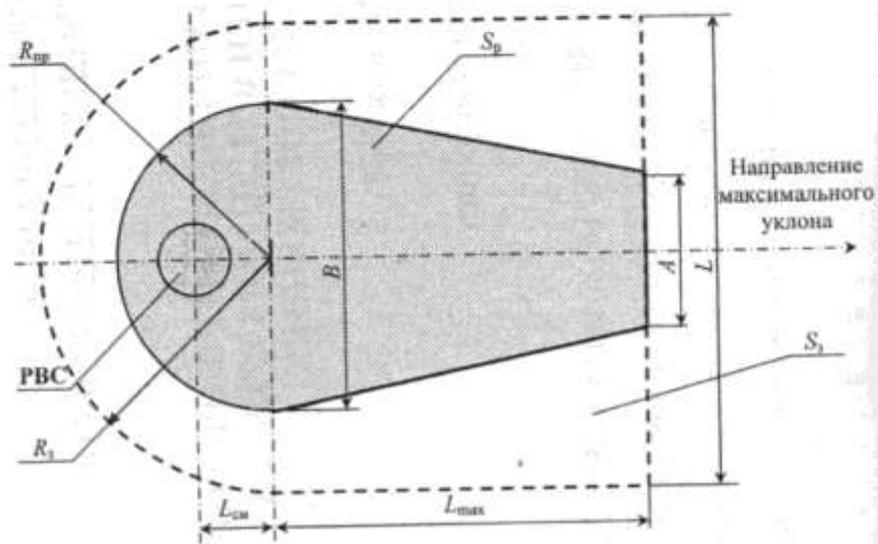
По результатам расчетного определения параметров аварийного разлива нефти и нефтепродуктов при квазимгновенном разрушении РВС на схему ситуационного (генерального) плана объекта наносится максимально прогнозируемая площадь разлива и зона возможного затопления территории с указанием их значений. Следует отметить, что разлив пожароопасной жидкости на значительной площади и воздействие опасных факторов пожара при полном разрушении РВС происходят за считанные секунды. Этого времени явно недостаточно для идентификации персоналом аварийной ситуации, принятия соответствующих ответных действий по предотвращению разлива горячей жидкости и эвакуации.

Экспериментальная проверка полноты учета параметров, определяющих площадь разлива жидкости, была произведена на одной из нефтебаз Липецкой области, где был подвергнут разрушению РВС-700, полностью заполненный водой. На кадрах видеосъемки (рис. 3.3) видны отдельные моменты распространения волны прорыва и ее взаимодействия с препятствиями.

Согласно работе [8], при квазимгновенном раскрытии стенок резервуара нарушается первоначальное состояние хранящейся в нем жидкости, т. е. изменяются во времени параметры движения в отдельных точках пространства, занятого движущейся жидкостью, вследствие чего возникает неустановившееся движение в открытом русле.



а - при уклоне территории $0,010 \leq i \leq 0,015$



б - при уклоне территории $0,015 < i \leq 0,070$

Рис. 3.2. Формы площадей разливов жидкостей и зон возможного затопления территорий при полных разрушениях вертикальных стальных резервуаров

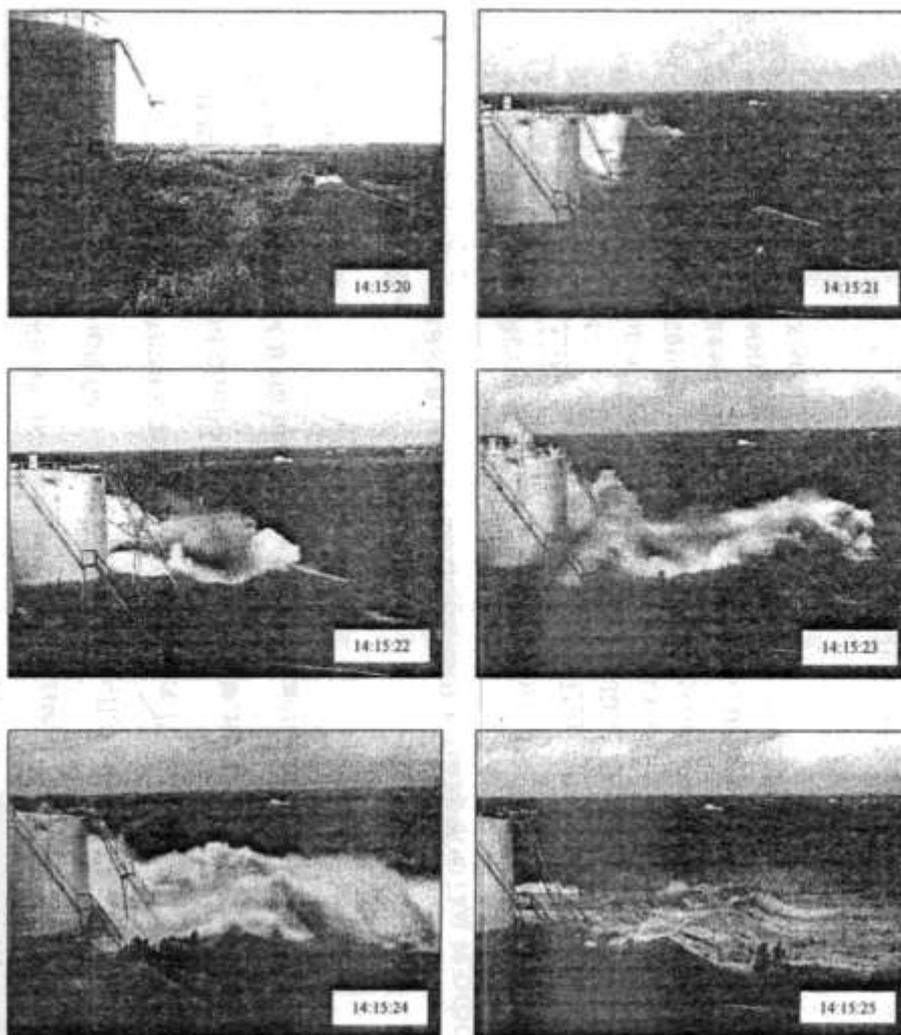


Рис. 3.3. Кадры видеосъемки полного разрушения PVC-700 с водой

Изменение параметров движения жидкости, в свою очередь, является возмущением, вызывающим перемещение вниз по течению волны прорыва. Вследствие резкого изменения глубины потока на сравнительно коротком расстоянии (рассматривается расстояние от стенки резервуара до защитного ограждения) движение жидкости будет быстро изменяющимся, а волна прорыва - соответственно прерывной волной, которая характеризуется резкой нестационарностью потока, наличием резкого фронта в виде бора (вала), достигающего значительной высоты и движущегося с большой скоростью, а также большой разрушительной силой.

На представленных снимках отчетливо прослеживаются основные стадии процесса: распространение потока жидкости в направлении ограждения, сопровождающееся понижением уровня жидкости в резервуаре; удар волны о защитную преграду и резкий выброс жидкости вверх и вдоль нее; образование частичного обратного вала жидкости, отраженного от преграды и распространяющегося по направлению к центру резервуара; перехлест основной массы жидкости через обвалование и разлив воды на значительной площади.

При этом типе движения профиль волны имеет резко выраженную кривизну линий тока, изменение которой столь круто, что профиль потока, по существу,

разрывается, приходя в состояние высокой турбулентности. Однако форма движения волны неустойчива: если вначале профиль волны характеризуется крутым фронтом, то по мере продвижения волны по сухому руслу он быстро расплывается. При неограниченной ширине отводящего русла возникает свободное растекание, на внешних границах которого глубина стремится к нулю. В реальных условиях при ограниченной ширине отводящего русла бурный поток набегает на берега ограждения отводящего русла и промывает, перехлестывает или разрушает их.

Эксперимент также подтвердил и выявленные в ходе анализа статистических данных аварий на резервуарах особенности разрушения конструкции РВС. В частности, после разрушения корпуса резервуара по вертикали на всю высоту стенки отрываются от днища и крыши и разворачиваются на 180° . Резервуар реактивной силой сдвигается с фундамента в противоположную от истечения сторону. Крыша резервуара обрушивается на днище. При этом потоком жидкости и/или стенками аварийного РВС повреждаются (разрушаются) соседние резервуары.

На рис. 3.4 приведены снимки, показывающие последствия воздействия потока жидкости на соседние резервуары группы, а также положение фрагментов конструкции аварийного резервуара после разрушения.

Вследствие того, что направление разрушения резервуара относительно соседних резервуаров или объектов практически непредсказуемо, сценарии развития таких аварий могут иметь большое количество вариантов. К наиболее опасному, с точки зрения масштабов последствий квазимгновенного разрушения резервуара, следует отнести вариант развития аварии по принципу «домино», когда направление потока жидкости при разрушении РВС направлено на соседние резервуары группы, наружные технологические установки, здания или сооружения предприятия.

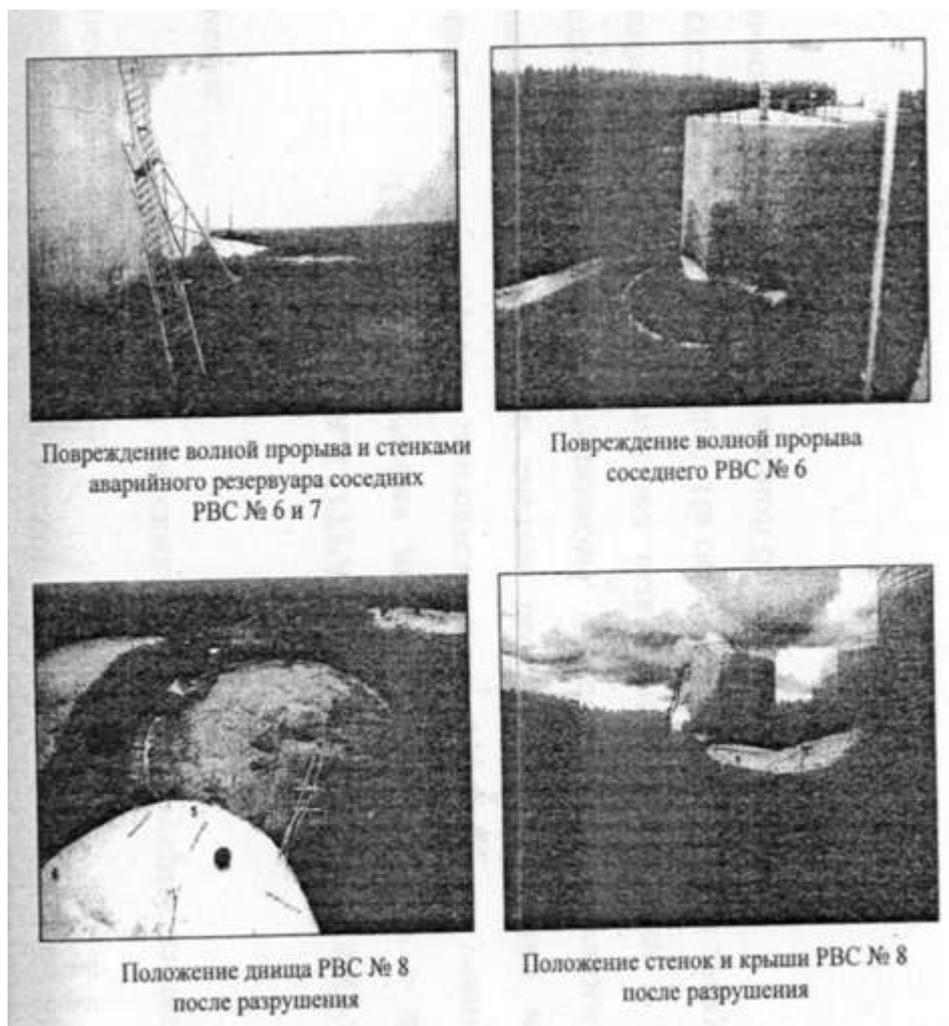
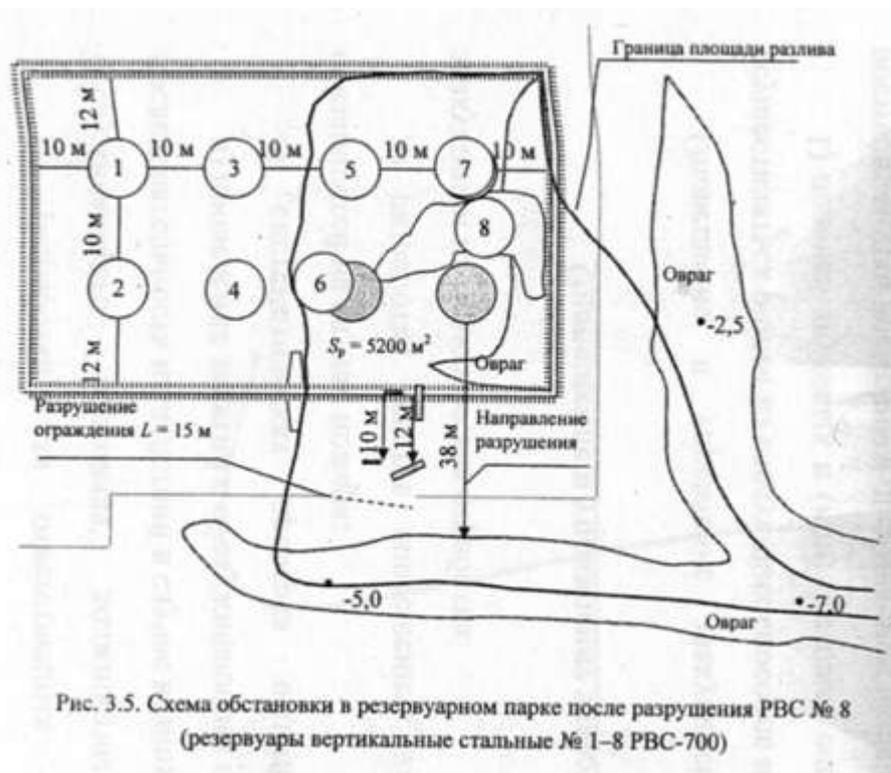


Рис.3.4. Последствия полного разрушения РВС-700

В этом случае возможно цепное развитие аварии, что приведет к увеличению площади разлива (пожара), значительному материальному и экологическому ущербу, к необходимости сосредоточения большого количества сил и средств для локализации и ликвидации аварии (пожара) [8].

Для получения наибольшей ожидаемой площади разлива в целях сравнения ее с найденным по номограмме (см. рис. 3.1) значением разрушение РВС-700 произвели со стороны земляного обвалования резервуарного парка. На рис. 3.5 представлена схема резервуарного парка нефтебазы с указанием площади разлива жидкости после разрушения РВС № 8.



Результаты проведенного эксперимента подтвердили характер взаимодействия образовавшегося потока жидкости с земляным обвалованием. Основная масса жидкости перехлестнула через обвалование, частично размыв его гребень. Следует отметить, что ширина потока, подходящего к обвалованию, примерно соответствует диаметру резервуара. Затем происходит резкое увеличение ширины потока, особенно в направлении наибольшего уклона площадки ($i \approx 0,030$).

По мере своего продвижения поток частично разрушил обвалование, опрокинул фундаментный блок ФБС 24-5-6 массой 1,56 т и плиту перекрытия ПК 60-12-8 массой 2,15 т, повредил и сдвинул с фундамента соседние резервуары, разрушил ограждение и вышел за пределы территории объекта. Площадь разлива достигла своих максимальных размеров примерно через 6-8 с с момента разрушения РВС, имела трапециевидальную форму и составила 5,2 тыс. м². Ожидаемая площадь разлива, рассчитанная по формуле (3.15), для уклона рельефа местности, находящегося в диапазоне от 0,015 до 0,030 включительно, составляет 5,6 тыс. м².

Необходимо отметить, что разлив жидкости при разрушении резервуара на завершающем этапе был ограничен расположенными в непосредственной близости естественными оврагами глубиной от 2,5 до 7 м, что привело к снижению фактической площади разлива.

Таким образом, предложенная аппроксимационная зависимость адекватно описывает процесс разлива жидкости и может быть использована на практике для прогнозирования площади возможного пожара разлива в случае полного разрушения вертикального стального резервуара.

Приведенные сведения по определению площади разлива жидкости и зоны возможного затопления нефтепродуктами территории производственного объекта и смежных с ним объектов рекомендуется использовать при разработке планов пожаротушения и локализации аварийных ситуаций, расчете необходимого

количества сил и средств для тушения пожара и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, разработке декларации промышленной безопасности.

Аппарат с горючим газом

Массу горючего газа $m_{гг}$, выходящего наружу при полном разрушении аппарата, определяют по формуле (3.13), которая после соответствующих преобразований имеет следующий вид:

$$m_{гг} = \left(V_{ан} \frac{p_p}{10^5} \varepsilon + \sum_{i=1}^k q_i \tau_i + \sum_{j=1}^k l_{jnp} f_{jnp} \frac{p_p}{10^5} \right) \rho_r, \quad (3.16)$$

где p_p - рабочее давление среды в аппарате, Па; q_i - производительность i -го компрессора или пропускная способность i -го трубопровода, питающего аппарат, м³/с; ρ_r - плотность горючего газа при рабочей температуре среды в аппарате, кг/м³.

Определение размеров зон взрывоопасных концентраций в производственных помещениях и на открытых технологических площадках

При разливе горючих жидкостей или сжиженных горючих газов в помещении или на территории промышленной площадки происходит их испарение с образованием зон взрывоопасных концентраций (для горючей жидкости должно выполняться условие $t_p \geq t_{всп}$

Взрывоопасная смесь может занять весь объем помещения и выйти за его пределы. Взрывоопасное облако может дрейфовать по ветру на значительные расстояния до тех пор, пока оно не диффундирует в окружающую среду или не встретит на своем пути источник зажигания, воспламенивший ее. Воспламенение облака приводит к появлению опасных факторов взрыва (избыточное давление взрыва и импульс волны давления), а также к пожару разлива жидкости.

Определяющими параметрами зоны взрывоопасных концентраций являются расстояния $X_{НКПР}$, $Y_{НКПР}$, $Z_{НКПР}$ (длина, ширина и высота), ограничивающие область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР), которые зависят от массы, физико-химических свойств разлившихся продуктов, температуры и подвижности окружающей среды.

Образование зоны ВОК в производственном помещении

Метод расчета размера зон, ограниченных нижним концентрационным пределом распространения пламени паров, при аварийном поступлении ненагретых легковоспламеняющихся жидкостей или горючих газов в производственное помещение изложен в НПБ 105-03.

Приведенные ниже расчетные формулы применяют для помещений, имеющих форму прямоугольного параллелепипеда с отношением длины к ширине не более 5

при условии, что $100m/(\rho_{ГП}V_{CB}) < 0,5\varphi_{НКПР}$, где $\varphi_{НКПР}$ - нижний концентрационный предел распространения пламени горючего газа или пара, % (об.).

Расстояния $X_{НКПР}$, $Y_{НКПР}$, $Z_{НКПР}$ при $\delta\varphi_0 > \varphi_{НКПР}$ рассчитывают по формулам:

$$X_{НКПР} = K_1 L \left(K_2 \ln \frac{\delta\varphi_0}{\varphi_{НКПР}} \right)^{0,5}; \quad (3.17)$$

$$Y_{НКПР} = K_1 S \left(K_2 \ln \frac{\delta\varphi_0}{\varphi_{НКПР}} \right)^{0,5}; \quad (3.18)$$

$$Z_{НКПР} = K_3 H \left(K_2 \ln \frac{\delta\varphi_0}{\varphi_{НКПР}} \right)^{0,5}, \quad (3.19)$$

где K_1 - коэффициент, принимаемый равным 1,1314 для ГГ и 1,1958 для ЛВЖ; K_2 - коэффициент, принимаемый равным 1 для ГГ; для ЛВЖ $K_2 = T/3600$; K_3 - коэффициент, принимаемый равным 0,0253 для ГГ при отсутствии подвижности воздушной среды; 0,02828 для ГГ при подвижной воздушной среде; 0,04714 для ЛВЖ при отсутствии подвижности воздушной среды и 0,3536 для ЛВЖ при подвижной воздушной среде; L , S и H - соответственно длина, ширина и высота производственного помещения, м; δ - допустимые отклонения концентраций при задаваемом уровне значимости $Q(\varphi > \bar{\varphi})$ - табличное значение (табл. 3.2) (величина уровня значимости $Q(\varphi > \bar{\varphi})$ выбирается, исходя из особенностей технологического процесса, допускается принимать $Q(\varphi > \bar{\varphi})$, равным 0,05); φ_0 - предэкспоненциальный множитель, % (об.), вычисляемый по следующим формулам:

- при отсутствии подвижности воздушной среды для ГГ

$$\varphi_0 = 3,77 \cdot 10^3 \frac{m}{\rho_r V_{ca}}; \quad (3.20)$$

- при подвижности воздушной среды для ГГ

$$\varphi_0 = 3 \cdot 10^2 \frac{m}{\rho_r V_{ca} U}; \quad (3.21)$$

- при отсутствии подвижности воздушной среды для паров ЛВЖ

$$\varphi_0 = \varphi_n \left(\frac{100m}{\varphi_n \rho_n V_{ca}} \right)^{0,41}; \quad (3.22)$$

- при подвижности воздушной среды для паров ЛВЖ

$$\varphi_0 = \varphi_n \left(\frac{100m}{\varphi_n \rho_n V_{ca}} \right)^{0,46}; \quad (3.23)$$

где m - масса газа или паров ЛВЖ, поступающих в объем помещения и участвующих в образовании зон взрывоопасных концентраций, кг; φ_n - концентрация насыщенных паров при расчетной температуре t_p воздуха в помещении, % (об.).

При $\delta\varphi_0 \leq \varphi_{НКПР}$ принимают $X_{НКПР} = Y_{НКПР} = Z_{НКПР} = 0$.

Концентрация φ_n может быть найдена по формуле

$$\varphi_n = 100 p_n / p_0, \quad (3.24)$$

где p_0 - атмосферное давление, равное 101 кПа.

Таблица 3.2

Характер распределения концентраций	5
Для ГГ' при отсутствии подвижности воздушной среды	1,38
Для ГГ при подвижности воздушной среды	1,37
Для паров ЛВЖ при отсутствии подвижности воздушной среды	1,25
Для паров ЛВЖ при подвижности воздушной среды	1,27

Примечание. Значения допустимых отклонений δ концентраций при уровне значимости $Q(\varphi > \bar{\varphi}) = 0,05$.

Радиус R_δ и высоту Z_δ , м, зоны, ограниченной НКПР газов и паров, вычисляют, исходя из значений $X_{НКПР}$, $Y_{НКПР}$, $Z_{НКПР}$ для заданного уровня значимости Q .

При этом $R_\delta > X_{НКПР}$, $R_\delta > Y_{НКПР}$ и $Z_\delta > h + R_\delta$ для ГГ и $Z_\delta > Z_{НКПР}$ для ЛВЖ (h - высота источника поступления газа от пола помещения для ГГ тяжелее воздуха и от потолка помещения для ГГ легче воздуха, м).

Геометрически зона ВОК, образованная ГГ и ограниченная НКПР, представляет собой цилиндр с основанием радиусом R_δ и высотой $h_\delta = 2 R_\delta$ при $R_\delta \leq h$ и $h_\delta = h + R_\delta$ при $R_\delta > h$, внутри которого расположен источник возможного выделения ГГ.

Геометрически зона ВОК, образованная ЛВЖ и ограниченная НКПР, представляет собой цилиндр с основанием радиусом R_δ и высотой $Z_\delta = Z_{НКПР}$ при высоте источника паров ЛВЖ $h < Z_{НКПР}$ и $Z_\delta = h + Z_{НКПР}$ при $h \geq Z_{НКПР}$.

За начало отсчета места появления горючих паров или газов при аварии принимают внешние габаритные размеры аппаратов, установок, трубопроводов и т. п. Во всех случаях значения расстояний $X_{НКПР}$, $Y_{НКПР}$, $Z_{НКПР}$ должны быть не менее 0,3 м для ГГ и ЛВЖ.

Образование зоны ВОК на производственной площадке

Метод расчета размера зоны, ограниченной нижним концентрационным пределом распространения пламени пара или газа, при аварийном поступлении ненагретых легковоспламеняющихся жидкостей или горючих газов в открытое пространство при неподвижной воздушной среде изложен в Приложении Б ГОСТ Р 12.3.047-98.

Расстояния $X_{НКПР}$, $Y_{НКПР}$, $Z_{НКПР}$, ограничивающие область концентраций, превышающих НКПР, рассчитывают по формулам:

-для ГГ

$$X_{\text{НКПР}} = Y_{\text{НКПР}} = 14,6 \left(\frac{m_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} \Phi_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33}; \quad (3.25)$$

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,33 \left(\frac{m_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} \Phi_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33}; \quad (3.26)$$

- для паров ЛВЖ

$$X_{\text{НКПР}} = Y_{\text{НКПР}} = 3,2 \sqrt{K} \left(\frac{P_{\text{н}}}{\Phi_{\text{НКПР}}} \right)^{0,8} \left(\frac{m_{\text{н}}}{\rho_{\text{н}} P_{\text{н}}} \right)^{0,33}; \quad (3.27)$$

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,12 \sqrt{K} \left(\frac{P_{\text{н}}}{\Phi_{\text{НКПР}}} \right)^{0,8} \left(\frac{m_{\text{н}}}{\rho_{\text{н}} P_{\text{н}}} \right)^{0,33}, \quad (3.28)$$

где m_{Γ} - масса поступившего в открытое пространство ГГ при аварийной ситуации, кг; ρ_{Γ} - плотность ГГ при расчетной температуре и атмосферном давлении, кг/м³; $m_{\text{н}}$ - масса паров ЛВЖ, поступивших в открытое пространство за время полного испарения, но не более 3600 с, кг; $\rho_{\text{н}}$ - плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре и атмосферном давлении, кг/м³; $P_{\text{н}}$ - давление насыщенных паров ЛВЖ при расчетной температуре, кПа; K - коэффициент ($K = T/3600$ для ЛВЖ); T - продолжительность поступления паров ЛВЖ в открытое пространство, с.

Радиус R_{δ} , м, и высоту Z_{δ} , м, зоны, ограниченной НКПР газов и паров, вычисляют, исходя из значений $X_{\text{НКПР}}$, $Y_{\text{НКПР}}$, $Z_{\text{НКПР}}$.

При этом $R_{\delta} > X_{\text{НКПР}}$, $R_{\delta} > Y_{\text{НКПР}}$ и $Z_{\delta} > h + R_{\delta}$ для ГГ и $Z_{\delta} > Z_{\text{НКПР}}$ для ЛВЖ (h - высота источника поступления газа от уровня земли, м).

Геометрически зона ВОК, образованная ГГ и ограниченная НКПР, представляет собой цилиндр с основанием радиусом R_{δ} и высотой $h_{\delta} = 2 R_{\delta}$ при $R_{\delta} \leq h$ и $h_{\delta} = h + R_{\delta}$ при $R_{\delta} > h$, внутри которого расположен источник возможного выделения ГГ.

Геометрически зона ВОК, образованная ЛВЖ и ограниченная НКПР, представляет собой цилиндр с основанием радиусом R_{δ} и высотой $h_{\delta} = 2 R_{\delta}$ при высоте источника паров ЛВЖ $h < Z_{\text{НКПР}}$ и $Z_{\delta} = h + Z_{\text{НКПР}}$ при $h \geq Z_{\text{НКПР}}$.

За начало отсчета размеров зоны, ограниченной НКПР газов и паров, принимают внешние габаритные размеры аппаратов, установок и т. п. Во всех случаях значения $X_{\text{НКПР}}$, $Y_{\text{НКПР}}$, $Z_{\text{НКПР}}$ должны быть не менее 0,3 м для ГГ и ЛВЖ.

Расчетные формулы (3.27) и (3.28) в соответствии с «Рекомендациями по обеспечению пожарной безопасности объектов хранения и переработки СУГ» могут быть использованы и для определения максимальных размеров зон при испарении СУГ из проливов. В них также приведена методика определения размеров взрывоопасных зон при истечении СУГ из трубопроводов.

Горизонтальный размер взрывоопасной зоны по направлению ветра $X_{\text{НКПР}}$, образующейся при истечении СУГ из трубопровода, можно рассчитать по формуле

$$X_{\text{НКПР}} = 40 (G/U)^{0,5}, \quad (3.29)$$

где G - массовая скорость поступления горючего газа в окружающее пространство, кг/с; U - скорость ветра, м/с (формула применима для скорости ветра $U \geq 1 \text{ м/с}$).

При разгерметизации резервуаров (трубопроводов) для хранения СУГ под давлением возможно истечение паровой (при разгерметизации выше уровня жидкости) и жидкой (при разгерметизации ниже уровня жидкости) фаз. Соответственно следует различать массовые скорости истечения паровой и жидкой фаз СУГ.

Массовую скорость истечения паровой фазы СУГ $G_{жс}$, кг/(с*м²), вычисляют по формуле

$$G_n = \sqrt{\left(\frac{p_{кр} M}{RT_{кр}}\right) p_{кр} (0,167 p_R^5 + 0,534 p_R^{1,95})}, \quad (3.30)$$

где $p_{кр}$ - критическое давление, Па; $T_{кр}$ - критическая температура, К; $p_R = p/p_{кр}$ (здесь p - давление в оборудовании, Па).

Массовую скорость истечения жидкой фазы СУГ $G_{жл}$, кг/(с*м²), вычисляют по формуле

$$G_{ж} = G_n \frac{\sqrt{(p_{ж} / p_n) p_R}}{1,22 T_R^{3/2}}, \quad (3.31)$$

где $\rho_{жс}, \rho_{жл}$ - плотности жидкой и паровой фаз СУГ, кг/м³; $T_R = T/T_{кр}$ где T - температура СУГ, находящегося в аппарате (трубопроводе), К.

Способы обеспечения пожарной безопасности на производственных объектах

Устойчивая, безаварийная и безопасная работа производственных объектов зависит от конструкции и надежности эксплуатируемого оборудования, наличия и исправности контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации, во многом от наличия и эффективности систем противоаварийной, активной и пассивной противопожарной защиты.

Безопасность производства в значительной степени определяется организационно-техническими мероприятиями, к которым можно отнести: профилактическую работу, своевременный и качественный планово-предупредительный ремонт оборудования и приборов, подготовленность и практические навыки персонала предприятий, надзор за состоянием технических средств противоаварийной и противопожарной систем.

Для современного уровня развития промышленности характерны значительные объемы взрывопожароопасных и токсичных продуктов, находящихся в технологической аппаратуре, хранилищах, прицеховых и базисных складах, поэтому должны приниматься всесторонние меры по предупреждению утечки и выбросов этих продуктов, пожаров, взрывов.

Таким образом, пожаровзрывобезопасность производственных объектов в значительной мере достигается предупреждением повреждений и разрушений технологического оборудования, что обеспечивается одним из следующих способов или их комбинацией:

- соблюдением технологического регламента ведения производственного процесса и техники безопасности;
- максимальной механизацией и автоматизацией технологических процессов;
- осуществлением контроля за геометрическими характеристиками технологического оборудования;
- проведением плановых ремонтных работ, дефектоскопии и рентгеноскопии наиболее ответственных технологических аппаратов, сооружений;
- соблюдением температурных режимов и режимов давления при эксплуатации технологического оборудования;
- оснащением аппаратов независимыми измерителями уровня и манометрами слежения за режимами давления. Например, контроль уровня в резервуарах должен осуществляться только автоматическими контрольно-измерительными приборами;
- регулированием скорости наполнения (опорожнения) емкостных аппаратов жидкостью, которая не должна превышать суммарной пропускной способности установленных на нем дыхательных устройств;
- обеспечением возможности перекачки продуктов из одного аппарата в другой при аварийной ситуации;
- применением устройств для сброса конденсата при расположении внутри аппаратов нагревательных элементов (например, парового змеевика, все соединения которого должны быть сварными);
- применением двустенных аппаратов с заполнением межстенного пространства инертными газами или негорючими жидкостями (азотом, аргоном, тосолом и т. п.);
- применением устройств защиты производственного оборудования с горючими веществами от повреждений и аварий, установкой отключающих, отсекающих и других подобных устройств, предохранительных клапанов и разрывных мембран;
- заполнением гидравлических клапанов трудно испаряющейся, некристаллизирующейся, непонижающейся и незамерзающей жидкостью;
- подбором и применением соответствующих материалов для оборудования, используемого в агрессивных средах, при низких или высоких температурах;
- применением антикоррозионной защиты оборудования;
- нанесением на поверхности открытых технологических установок специальных красок, облицовочных материалов, негорючей теплоизоляции в целях уменьшения внешнего притока тепла от солнечной радиации;
- применением прокладочных и уплотняющих материалов, обладающих значительной упругостью и стойкостью при рабочих температурах в агрессивных средах (паронита, бензостойкой резины, асбометаллических прокладок и т. п.);
- применением огнепреграждающих устройств в оборудовании (искрогасителей, огнепреградителей и т. д.);
- установкой в местах возможного образования зон ВОК датчиков дозрывоопасных концентраций с автоматическим отключением побудителей расхода горючих газов или жидкостей и выводом сигнала о нарушении технологического процесса на пульт управления технологическим процессом;
- выполнением требований действующих норм, правил и стандартов в области обеспечения пожарной и промышленной безопасности.

Контрольные вопросы

Какие виды повреждений технологического оборудования Вы знаете?

К каким последствиям может привести выход горючих веществ при повреждении технологического оборудования?

Что понимают под термином **авария**?

Как классифицируют аварии на производственных объектах в зависимости от возможных последствий?

Что понимают под термином эффект «**домино**»?

От каких параметров зависит масса выходящей наружу жидкости при локальных повреждениях аппаратов?

Приведите формулу для определения скорости истечения жидкости через отверстие в трубопроводе или корпусе аппарата при постоянном давлении.

Что понимается под терминами время срабатывания и время отключения запорных устройств при аварийных ситуациях?

Чему равно расчетное время ручного отключения трубопроводов?

Чему равна площадь испарения 1 л смесей горючих жидкостей на полу производственного помещения, содержащих до 70 % по массе растворителей?

Чему равна площадь испарения 1 л смесей горючих жидкостей на полу производственного помещения, содержащих более 70 % по массе растворителей?

Чему равна площадь испарения горючих жидкостей на открытых производственных площадках, содержащих до 70 % по массе растворителей?

Чему равна площадь испарения горючих жидкостей на открытых производственных площадках, содержащих более 70 % по массе растворителей?

Назовите максимальную длительность испарения жидкости, допускаемую принимать в расчетных зависимостях.

Назовите параметры, от которых зависит интенсивность испарения паров жидкости с площади разлива.

Что учитывает коэффициент α при определении интенсивности испарения паров жидкости с площади разлива?

Назовите параметры, от которых зависит скорость движения воздуха в производственном помещении.

Приведите формулу расчета давления насыщенного пара при расчетной температуре горючей жидкости.

Что такое максимально возможная температура воздуха в помещении?

Приведите формулу для определения массы паров жидкости, участвующих в образовании зоны ВОК.

От каких параметров зависит масса горючего вещества, выходящего наружу при полном разрушении аппарата?

От каких параметров зависит площадь и форма разлива жидкости при полном разрушении вертикального стального резервуара?

Что понимается под термином зона возможного затопления!

Для чего необходимо прогнозировать площадь разлива жидкости и зону ВОК при аварийных ситуациях?

Назовите параметры, которыми определяется зона ВОК.

Назовите, как геометрически определяется зона ВОК.

Что принимается за начало отсчета зоны ВОК?

Назовите минимальные значения расстояний зоны ВОК.

Назовите параметры, от которых зависит горизонтальный размер зоны ВОК, образующейся при истечении СУГ из трубопроводов.

Назовите основные способы обеспечения пожаровзрывобезопасности производственных объектов при локальном повреждении оборудования с горючими газами.

Назовите основные способы обеспечения пожаровзрывобезопасности производственных объектов при полном разрушении оборудования с горючими газами.

Назовите основные способы обеспечения пожаровзрывобезопасности производственных объектов при локальном повреждении оборудования с горючими жидкостями.

Назовите основные способы обеспечения пожаровзрывобезопасности производственных объектов при полном разрушении оборудования с горючими жидкостями.

ЛИТЕРАТУРА

Пожарная безопасность технологических процессов: Рабочая программа. -М.: Академия ГПС МЧС России, 2003.

ГОСТ Р 12.3.047-98 Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.

ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования.

НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

Обеспечение пожарной безопасности объектов хранения и переработки СУГ: Рекомендации. - М.: ВНИИПО, 1999.

Алексеев М.В., Волков О.М., Шатров Н.Ф. Пожарная профилактика технологических процессов производств. - М.: ВИПТШ МВД СССР, 1985.

Горячев С.А. и др. Основы технологии, процессов и аппаратов пожаровзрывоопасных производств: Учебное пособие. - М.: Академия ГПС МЧС России, 2003.

Швырков С.А. Обеспечение пожарной безопасности нефтебаз ограничением разлива нефтепродуктов при разрушениях вертикальных стальных резервуаров: Дис... канд. техн. наук / Академия ГПС МВД России. - М., 2001.

Лекция 4

ПРИЧИНЫ ПОВРЕЖДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Необходимым условием обеспечения эффективной и безопасной эксплуатации технологического оборудования является его прочность.

Под прочностью понимается способность материала сопротивляться разрушению, а также необратимому изменению формы (пластические деформации) при действии внешних нагрузок. Прочность технологического оборудования обеспечивается правильным подбором материала с учетом характера и величин внутренних и внешних нагрузок, действующих на него. При выборе прочностных характеристик оборудования всегда исходят из самых неблагоприятных условий работы.

Наблюдаемые на практике повреждения технологического оборудования происходят в результате недостатков проектирования и конструктивного исполнения (неправильный расчет, неудачный выбор материала), дефектов изготовления (скрытые внутренние дефекты материала, некачественная подгонка и сварка), нарушения принятых режимов работы, отсутствия или неисправности средств защиты от чрезвычайных ситуаций (перегрузки, некачественное техническое обслуживание и ремонт).

Возможны следующие основные комбинации нарушений, приводящие к повреждению технологического оборудования:

- превышение расчетных нагрузок при сохранении расчетной прочности оборудования;
- снижение расчетной прочности оборудования при сохранении расчетных нагрузок;
- одновременное нарушение расчетных нагрузок и расчетной прочности оборудования.

Примером разрушения технологического оборудования в результате комбинации нарушений может служить авария с последующим крупным пожаром на складе сжиженных газов одного из газоперерабатывающих заводов. При заполнении горизонтального резервуара пропаном задвижку на коллекторе у заполняемой емкости закрыли без предварительной остановки насоса. При проектном максимальном давлении 2 МПа давление в коллекторе возросло до 3 МПа. Заглушка коллектора при проектной толщине 40 мм имела фактическую толщину 12 мм, причем ее шов по окружности не был проварен на 70 %. По проекту на приемных и выпускных коллекторах должны были быть установлены предохранительные клапаны, однако по неизвестной причине их не было. В результате снижения проектной прочности оборудования и значительного превышения рабочего давления в трубопроводе заглушку вырвало из фланца. Произошло воспламенение газозвушной смеси, что привело к пожару и его распространению на всю группу резервуаров.

Причины повреждений технологического оборудования принято классифицировать следующим образом:

- повреждения в результате механических воздействий;

- повреждения в результате температурных воздействий;
- повреждения в результате химических воздействий.

Повреждения технологического оборудования в результате механических воздействий

Под механическими воздействиями понимают такие воздействия, которые возникают в результате превышения расчетных нагрузок на оборудование при сохранении его расчетной прочности.

Наиболее характерным механическим воздействием является чрезмерное внутреннее давление или разрежение, возникающее в аппарате при переполнении оборудования жидкостями, газами или их сливе.

Такое явление имеет место на производственных объектах при нарушении технологического режима, недостаточном контроле при ведении технологического процесса, неисправности контрольно-измерительных приборов и защитной автоматики.

Для предотвращения переполнения технологического оборудования жидкостями или газами предусматриваются:

- счетчики количества поступающих в оборудование веществ;
- пожаробезопасные уровнемеры, манометры;
- автоматические системы прекращения подачи продуктов, отключающие насосы, компрессоры и питающие линии;
- сигнализаторы предельного верхнего уровня налива жидкости или СУГ;
- системы сигнализации и связи между наполняемыми аппаратами и операторными, насосными, компрессорными;
- переливные трубопроводные линии (запрещается устанавливать перекрывающую арматуру).

В технологических системах часто встречаются аппараты с разным рабочим давлением. Их подключение друг к другу без специфических дополнительных устройств может привести к авариям и пожарам.

Если аппарат работает под давлением, меньшим, чем давление питающего его источника, то на линии подключения аппарата к источнику давления должно быть предусмотрено, кроме запорной задвижки, автоматическое редуцирующее устройство с манометром и предохранительным клапаном со стороны аппарата меньшего давления. Запорная задвижка должна находиться между аппаратом и редуцирующим устройством, ближе к аппарату. На случай небольшого изменения давления оба подключенных друг к другу аппарата должны быть рассчитаны на наибольшее давление. Опасны подключения систем, работающих при высоком давлении, к системам, работающим при более низком давлении.

Чрезмерное внутреннее давление в аппарате может возникнуть в результате **нарушения материального баланса** в оборудовании.

В установившемся процессе вводимые в систему потоки веществ, составляющие приходные статьи баланса, Q_i^{IP} , должны равняться потокам веществ, выводимым из системы, Q_i^{IX} которые составляют расходные статьи баланса:

$$\sum G_i^{\text{пр}} = \sum G_i^{\text{рк}}. \quad (4.1)$$

В этом случае в аппарате сохраняется нормальное (рабочее) установленное для этого аппарата давление.

Для неустановившегося процесса характерно наличие разбаланса, показывающего убыль или накопление массы вещества в аппарате, которое, в свою очередь, также может привести к падению или росту давления в системе. Давление возрастает, если возрастает поступление веществ в аппарат при неизменном расходе или если расход веществ уменьшается при постоянном поступлении:

$$\sum G_i^{\text{пр}} > \sum G_i^{\text{рк}}; \quad (4.2)$$

$$\sum G_i^{\text{пр}} < \sum G_i^{\text{рк}}. \quad (4.3)$$

Нарушение материального баланса происходит и при несоответствии производительности насосов и компрессоров расходу продукта, при увеличении сопротивления в расходных и дыхательных линиях, а также в силу некоторых других причин. Любое изменение в расходе должно сопровождаться изменением производительности насоса или компрессора. Если насос будет работать с той же производительностью, а расход снижен, возникает повышенное давление в аппарате. Чтобы избежать этого явления за насосом устанавливают на линии манометры или автоматические регуляторы давления.

Чрезмерное внутреннее давление в аппарате или трубопроводе создается при наличии в нем отложений и пробок. На стенках аппаратов могут быть отложения солей, кокса, полимеров, кристаллогидратов и т. д. Из гидравлики известно, что потери-давления в линиях определяются по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$\Delta p = (\lambda l / d) \rho u^2 / 2, \quad (4.4)$$

где λ - коэффициент трения при движении продукта по трубе; d - диаметр трубы; ρ - плотность вещества; u - скорость потока; l - длина трубопровода.

Из формулы (4.4) следует, что при уменьшении площади сечения трубопровода (при образовании в нем отложений) давление в линии растет пропорционально квадрату скорости движения потока или отношению площадей нормального и суженного сечений, либо будет соответственно уменьшаться производительность системы.

Не все насосы и компрессоры обладают способностью изменять свою производительность в соответствии с изменением сопротивления линии. Например, такой способности лишены насосы объемного действия - поршневые, шестеренчатые, ротационные. Для них наиболее опасно частичное или полное прекращение подачи рабочего вещества при непрерывной работе. В этом случае увеличение давления в линии неизбежно приведет к аварии. Центробежные насосы в этом отношении менее опасны, так как при увеличении сопротивления в линии насос начинает работать «на себя».

Во избежание аварий и повреждений от подобного рода причин следует:

- отдавать предпочтение центробежным насосам и компрессорам;

у поршневых насосов устраивать циркуляционную линию с перепускным клапаном;

использовать устройства, автоматически регулирующие работу насоса в зависимости от величины давления в линии.

Уменьшение внутреннего сечения трубопровода может произойти в результате различного рода отложений, например, при понижении температуры окружающей среды в газовых и жидкостных линиях происходит образование ледяных и кристаллогидратных пробок, что может привести к полной забивке сечения трубы и аварийной ситуации.

Для предупреждения образования пробок в линиях производят:

-очистку веществ от взвешенных твердых частиц и солей путем отстаивания и фильтрации;

-строгое соблюдение температурного режима при нагреве органических жидкостей во избежание образования отложений кокса;

-добавку в продукт ингибиторов, снижение температурного режима, ликвидацию застойных участков во избежание образования полимерных отложений;

-осушку исходных веществ от влаги (хлористым алюминием и кальцием, силикагелем, вымораживанием и т. п.), повышение температуры на участках, где наиболее вероятно образование пробок, введение в вещества! добавок (метилового или этилового спирта), растворяющих кристалло гидраты;

-теплоизоляцию аппаратов и трубопроводов, расположенных на от крытых площадках и в неотапливаемых помещениях, прокладку параллельно трубам паровых спутников;

-очистку трубопроводов и аппаратов механическим или химическим способом в установленные инструкцией сроки;

-защиту газовых линий теплоизоляцией, а в наиболее низких участках газопровода (где возможно скопление жидкости) установку сборников конденсата.

В «дышащих» емкостных аппаратах (мерники, резервуары) повышенное давление может образоваться из-за отсутствия условий своевременного удаления вытесняемой паровоздушной смеси (при наполнении аппарата). Чаще всего это происходит при загрязнении или обледенении огнепреградителя, когда пропускная способность дыхательной системы не соответствует скорости налива. Эти же причины приводят к образованию вакуума при опорожнении резервуара, вызывая смятие его корпуса.

Чрезмерное внутреннее давление в аппарате (трубопроводе) возникает в результате нарушения температурного режима работы вследствие перегрева жидкостей или газов, что обусловлено отсутствием или неисправностью контрольно-измерительных приборов, недосмотром обслуживающего персонала, воздействием высоконагретых соседних аппаратов, повышением температуры окружающей среды и т. п. При этом давление в аппаратах возрастает за счет объемного расширения веществ и увеличения упругости их паров и газов.

Особую опасность представляют герметичные емкости и трубопроводы, полностью заполненные жидкостью или газом без оставления парового пространства. Так как жидкости практически не сжимаемы, нагревание их даже до невысоких

температур вызывает большие внутренние давления, приводящие к повреждениям и разрыву стенок. Характерными в этом отношении являются аварии резервуаров с СУГ.

На практике для обеспечения безопасности таких аппаратов нормативная степень заполнения должна быть: для емкостей и сосудов со сжиженными газами менее 0,85-0,9; для емкостей и сосудов с жидкостями менее 0,9-0,95.

Обеспечение нормативной степени заполнения аппаратов достигается применением устройств, сигнализирующих о пределе их заполнения. Так, для аппаратов с СУГ сигнализирующим устройством подача первого сигнала должна производиться при заполнении резервуара не более чем на 80 %. При заполнении газовых баллонов количество подаваемого газа контролируется по массе. Для контроля за температурой аппараты оборудуют измерителями и регуляторами. От облучения внешними источниками тепла их защищают теплоизоляцией, экранированием, окрашиванием в тепло-отражающий цвет, обеспечивают предохранительными клапанами.

Чрезмерное внутреннее давление в аппарате может возникнуть, если в аппарат, рассчитанный на высокие температуры, попадет жидкость с низкой температурой кипения. Например, попадание низкокипящей жидкости через неплотности теплообменной поверхности холодильников, находящихся внутри аппаратов, при неправильном переключении линий, в виде конденсата из паровых технологических и продувочных линий. При этом происходит интенсивное испарение низкокипящей жидкости со значительным повышением давления, что может привести к аварийной ситуации.

Для предотвращения попадания низкокипящей жидкости в высоко-температурный аппарат на линиях подачи острого водяного пара (для целей обогрева, перемешивания, продувки и т. п.) устраивают приспособления для спуска конденсата. Пар во избежание его конденсации подают только в достаточно прогретые (выше 100 °С) аппараты.

При резких изменениях величины давления в аппаратах (гидравлические удары), связанных с резким торможением движущегося потока жидкости или газа в результате вибраций от случайных ударов движущимся транспортом, возникают динамические нагрузки, которые вызывают образование внутренних напряжений в конструкциях аппарата значительно выше тех, которые могут возникнуть от статических нагрузок. Динамическим коэффициентом называют отношение внутреннего напряжения, вызванного нагрузкой динамического характера, к напряжению, вызванному статическим воздействием. Его величина имеет диапазон от 1,5 до 15.

Резкие изменения давления в аппаратах (трубопроводах) могут происходить при испытании их на прочность, при пуске в эксплуатацию, в моменты остановки, а также при грубых нарушениях установленных режимов температур и давлений. В эти периоды работы аппаратов необходимо обеспечить плавность изменения давления, предусмотренную соответствующими документами.

Гидравлические удары возникают в результате быстрого закрывания или открывания вентилей на трубопроводах, при больших пульсациях подаваемой насосами жидкости, при резком изменении давления на участках трубопроводов.

Величину Δp , на которую повысится давление в трубопроводе при полном гидравлическом ударе, определяют по формуле Н. Е. Жуковского:

$$\Delta p = \rho \cdot c \cdot \Delta v, \quad (4.5)$$

где c - скорость распространения ударной волны; Δv - уменьшение скорости движения при торможении струи.

$$c = \sqrt{E_{ж} / \rho [1 + (d / \delta) E_{ж} / E]} \quad (4.6)$$

где d - внутренний диаметр трубопровода; δ - толщина стенки трубопровода; E - модуль упругости материала трубопровода; $E_{ж}$ - модуль упругости жидкости (величина, обратная коэффициенту объемного сжатия жидкостей $\beta_{см}$).

Для предотвращения возможности возникновения гидравлического удара на трубопроводах устанавливают медленно закрывающиеся задвижки, воздушные колпаки и предохранительные клапаны, автоматически открывающиеся при повышении давления выше нормативного.

По конструктивному исполнению предохранительные клапаны могут быть рычажными, грузовыми, пружинными и манометрическими (рис. 4.1), а по назначению - рабочими и контрольными.

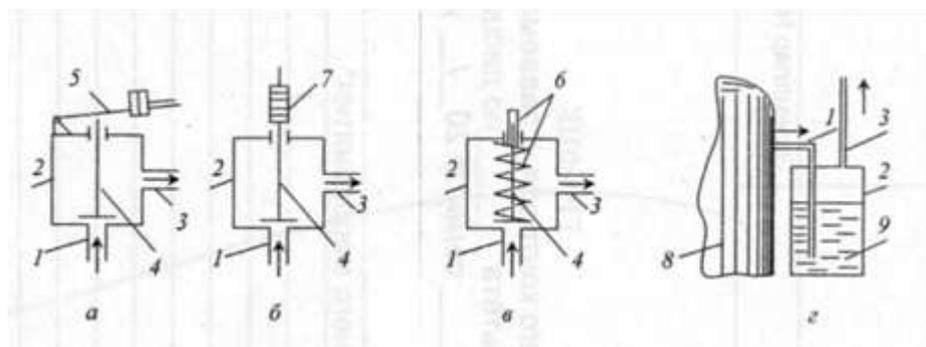


Рис. 4.1. Схемы предохранительных клапанов: а - рычажный; б - грузовой; в - пружинный; г - манометрический; 1 - патрубок для соединения с аппаратом; 2 - корпус клапана; 3 - патрубок выхлопной; 4 - тарелка и шток клапана; 5 - рычаг с регулятором натяжения; 6 - пружина с регулятором натяжения; 7 - груз; 8 - аппарат; 9 - жидкость

Если клапан на аппарате установить нельзя, его размещают вблизи аппарата. На трубопроводе между аппаратом и предохранительным клапаном не должно быть других запорных устройств. Размеры, количество, а также давление срабатывания предохранительных клапанов выбирают с таким расчетом, чтобы в аппарате не могло образоваться давление, на 0,05 МПа превышающее рабочее (для аппаратов с избыточным давлением от 0,07 до 0,3 МПа), более чем на 15 % - при давлении до 6 МПа (изб.) и на 10 % - при рабочем давлении свыше 6 МПа (изб.).

При расчете пропускной способности G , кг/с, или площади сечения предохранительного клапана для паров и газов пользуются формулой

$$G = 1,41\alpha FB\sqrt{(p_1 - p_2)\rho_t}, \quad (4.7)$$

где α - коэффициент расхода (приводится в паспорте клапана); p_1 - избыточное давление срабатывания клапана; p_2 - избыточное давление за предохранительным клапаном; ρ_t - плотность среды при условиях срабатывания клапана (p_1 и t_1); t_1 - температура среды перед клапаном; В - коэффициент, определяемый по табл. 4.1

Для жидкостей коэффициент В принимают равным единице.

Таблица 4.1

p_1, p_2	Коэффициент в при значении показателя адиабаты κ						
	1,24	1,30	1,40	1,66	2,00	2,50	3,00
0,00	0,464	0,472	0,484	0,513	0,544	0,582	0,612
0,04	0,474	0,482	0,494	0,524	0,556	0,594	0,625
0,12	0,495	0,503	0,516	0,547	0,580	0,620	0,653
0,20	0,519	0,527	0,531	0,573	0,609	0,651	0,685
0,32	0,563	0,572	0,587	0,622	0,660	0,706	0,743
0,40	0,598	0,609	0,625	0,662	0,702	0,751	0,788
0,50	0,656	0,667	0,685	0,725	0,765	0,807	0,836
0,60	0,730	0,741	0,757	0,790	0,822	0,855	0,878
0,72	0,818	0,826	0,837	0,860	0,883	0,905	0,920
0,80	0,873	0,878	0,886	0,903	0,919	0,935	0,945

При установке предохранительных клапанов на аппаратах с горючими и токсичными продуктами сбросы от клапанов направляют через отводной стояк в атмосферу, факельную линию или закрытую систему с газгольдером. Если возможен выход из аппарата вместе с паром и газом горючей жидкости, на линии отвода газа перед стояком устанавливают сепаратор (рис. 4.2).

На аппаратах и емкостях с СУГ устанавливают по два предохранительных клапана - каждый на полную пропускную способность.

Наличие задвижек перед клапанами может быть допущено только при заблокированном соединении клапанов (рис. 4.3). При центральном (нормальном) расположении маховичка обе задвижки перед клапанами должны быть полуоткрыты. Для отключения одного из клапанов на осмотр и ремонт вращением маховичка закрывают задвижку под неисправным клапаном, при этом сечение второй задвижки полностью открывается.

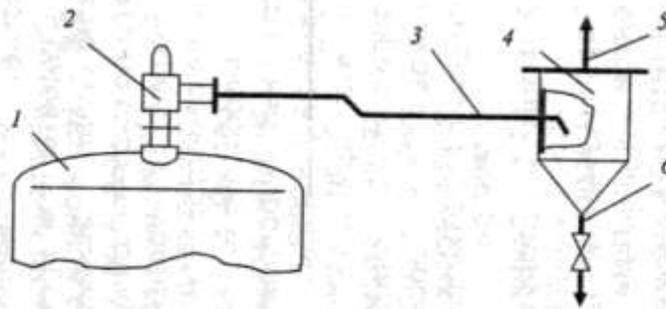


Рис. 4.2. Сепаратор на отводной линии предохранительного клапана:
 1 – аппарат; 2 – предохранительный клапан; 3 – отводная линия;
 4 – сепаратор; 5 – линия сброса газа; 6 – линия спуска жидкости

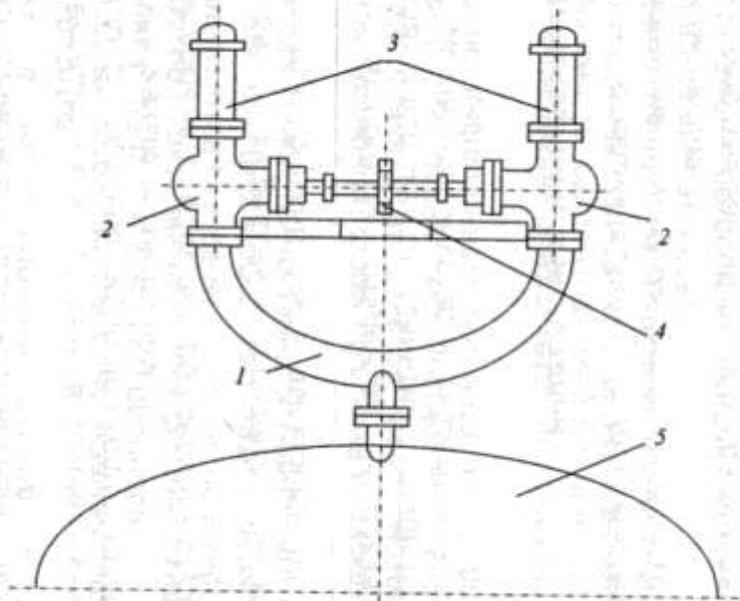


Рис. 4.3. Защитная блокировка предохранительных клапанов:
 1 – тройник; 2 – вентили; 3 – предохранительные клапаны;
 4 – винт с маховиком; 5 – защищаемый аппарат

Для снижения утечек через предохранительные клапаны (из-за неплотного прилегания тарелки клапана к седлу или пульсации давления), а также для защиты деталей клапана от коррозии агрессивной технологической средой между клапаном и аппаратом устанавливают разрывную мембрану, представляющую собой тонкую пластину из коррозионно-устойчивого материала, разрушающуюся при повышении давления в аппарате.

Повреждения технологического оборудования в результате температурных воздействий

Повреждение технологического оборудования может произойти в результате образования не предусмотренных расчетом температурных перепадов в материале стенок аппаратов и трубопроводов, а также в результате ухудшения механических характеристик металлов при низких или высоких температурах.

Температурные перенапряжения в материале аппаратов наступают, когда есть препятствия линейному изменению отдельных элементов или конструкции в целом.

Если аппарат при изменении температуры свободно меняет свои размеры, то повреждения не произойдет. Изменение длины конструкции Δl , при этом будет равно

$$\Delta l_t = \alpha l \Delta t, \quad (4.8)$$

где α - коэффициент линейного расширения материала конструкции; Δt - изменение температуры; l - длина конструкции.

При отсутствии условий свободного изменения линейных размеров аппарата, т. е. в жестко заземленной конструкции, при изменении температуры возникнут температурные напряжения, величину которых можно определить, составив уравнение совместных деформаций:

$$\Delta l_t = \Delta l_p, \quad (4.9)$$

где Δl_p - изменение длины конструкции под воздействием фиктивной силы p_t вызывающей равнозначные и равновеликие температурные напряжения в конструкции.

Согласно закону Гука,

$$\Delta l_p = p_t l / (FE) = \sigma_t l / E, \quad (4.10)$$

где p_t сила, возникающая при действии температуры на конструкцию; F - площадь сечения конструкции; E - модуль упругости материала; σ_t - температурное напряжение.

Подставляя формулы (4.8) и (4.10) в уравнение (4.9), получаем:

$$\sigma_t = \alpha E \Delta t. \quad (4.11)$$

Температурные напряжения наблюдаются при жестком креплении трубопроводов, наличии в аппаратах биметаллических конструкций или конструктивных элементов, находящихся под воздействием неодинаковых температур, в толстостенных конструкциях и при местных изменениях температур в материале аппарата.

Разгрузка трубопроводов от температурных напряжений осуществляется установкой температурных компенсаторов. Компенсаторы применяют линзовые, гнутые (П-образные, лирообразные и др.) и сальниковые (рис. 4.4).

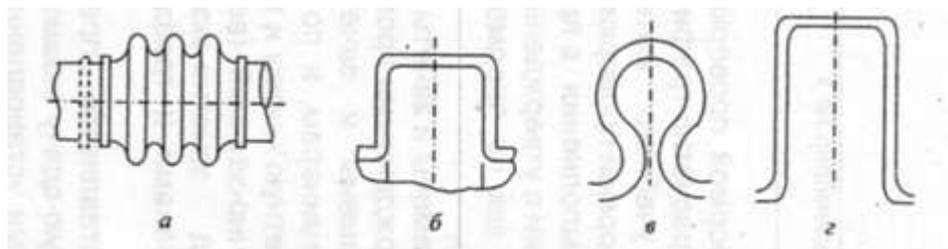


Рис. 4.4. Виды компенсаторов: а - волнистые; б - линзовые; в, г - гнутые

При поверочных расчетах толстостенных конструкций температуру наружной и внутренней поверхностей стенки принимают, исходя из максимально возможного перепада температур, как в процессе работы, так и в периоды пуска и остановки аппарата.

Для предупреждения аварий от температурных воздействий:

- строго поддерживают заданный температурный режим работы;
- используют автоматические регуляторы температуры;
- устанавливают регистрирующие приборы с сигнальными устройствами для замера температуры стенок корпуса аппарата;
- производят охлаждение внутренней поверхности стенок аппарата;
- наружные аппараты защищают теплоизоляцией.

Длительное воздействие высоких температур на материал, из которого изготовлены аппараты, приводит к появлению медленных пластических деформаций в этих аппаратах, даже в тех случаях, когда напряжение от рабочих нагрузок не превышает предела текучести (при данной температуре). Такое явление носит название ползучести (крипа).

Особенно существенные изменения в условиях длительной работы под нагрузкой при высокой температуре претерпевают углеродистые стали, а легированные и жаропрочные свои механические свойства изменяют незначительно. Поэтому при конструировании аппаратов и трубопроводов необходимо использовать марки сталей, в зависимости от назначения материала, с учетом возможного повышения температуры при эксплуатации.

Повреждение технологического оборудования может наступить в результате воздействия не только высоких, но и низких температур. При низких температурах работают холодильные установки (аммиачные, пропановые и т. п.), установки газотрибирования (при температуре $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже), установки по производству жидкого воздуха, кислорода, азота (при температуре $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже), а также технологические сооружения на открытых площадках в районах Урала, Сибири и Крайнего Севера. В этих условиях эксплуатации оборудования возникает опасное явление хладоломкости стали (охрупчивание), связанное с резким падением ударной вязкости при снижении температуры, что приводит к образованию трещин, а иногда и к полному разрушению сооружений. Так, в 1950-1970 годах наблюдалось большое количество разрушений вертикальных стальных резервуаров, эксплуатировавшихся в основном в районах Сибири, вызванных охрупчиванием металла. Все резервуары были выполнены из стали марки СтЗкп. По результатам работы комиссий, расследовавших аварии, было

выяснено, что данная марка стали склонна к хрупкому излому при низких температурах.

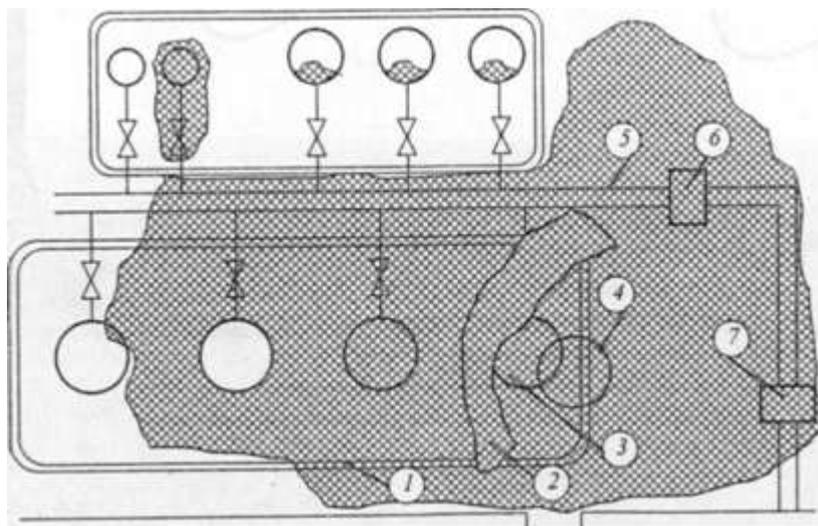


Рис. 4.5. Схема пожара в резервуарном парке: 1 - обвалование; 2,3,4- развернутая стенка, днище и сброшенная крыша разрушившегося резервуара; 5 - эстакада трубопроводов; 6 - узел задвижек; 7- насосная с операторной; заштрихована площадь пожара 13000 м

На рис. 4.5 показана схема пожара в резервуарном парке, происшедшего на одной из нефтебаз в Восточной Сибири, причиной которого явилось полное разрушение одного из четырех резервуаров в группе типа РВС-5000 м³ с бензином. Авария произошла при резком снижении температуры окружающего воздуха от -20 до -43 °С, что привело к образованию в течение суток 18 трещин в стенках и сварных швах резервуаров и полному разрушению одного из них.

Таким образом, при сооружении аппаратов, емкостей и трубопроводов, работающих в условиях воздействия низких температур, необходимо применять стали с повышенной ударной вязкостью и имеющих низкую критическую температуру хладоломкости. В качестве дополнительных мероприятий наружные емкости с СУГ защищают теплоизоляцией и оборудуют внутренними змеевиками для обогрева их в зимнее время циркулирующим керосином. Для резервуаров с ЛВЖ и ГЖ в зимний период устанавливают меньшую степень заполнения (до 70-80 %), реже осуществляют операции слива и налива, утепляют наиболее нагруженные элементы конструкции резервуаров - узлы сопряжения стенки с днищем (уторный уголок).

Повреждения технологического оборудования в результате химических воздействий

Обращающиеся в технологическом процессе вещества и окружающая среда вступают в химическое взаимодействие с материалом, из которого изготовлено технологическое оборудование, вызывая его разрушение. Раз-

рушение материала в результате взаимодействия с соприкасающейся с ним средой называется коррозией.

Разрушающему действию коррозии наиболее подвержены слабые места производственного оборудования: швы, разъемные соединения, прокладки, места изгибов и поворотов труб.

Коррозионную стойкость металлов оценивают в соответствии с ГОСТ 13819-68 «Коррозионная стойкость металлов» по десятибалльной системе (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Группа стойкости	Скорость коррозии, мм/год	Балл
Совершенно стойкие	Менее 0,001	1
Весьма стойкие	0,001-0,005	2
	0,005-0,01	3
Стойкие	0,01-0,05	4
	0,05-0,1	5
Пониженно-стойкие	0,1-0,5	6
	0,5-1,0	7
Малостойкие	1,0-5,0	8
	5,0-10,0	9
Нестойкие	10,0	10

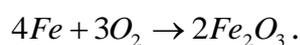
Под скоростью коррозии понимают проникновение коррозии в глубину металла и рассчитывают ее (согласно данным о потере массы после удаления продуктов коррозии) по формуле $P = \Delta g / \rho$, где Δg - потери массы; ρ - плотность металла.

При расчете оборудования на прочность предусматривают увеличение расчетной толщины стенки аппарата для компенсации потерь от коррозии, т. е. принимают $S = S_{\sigma} + \Delta S_{кор}$, где S_{σ} - расчетная толщина стенки аппарата (из условий прочности металла) без учета коррозии; $\Delta S_{кор}$ - прибавка на коррозию. $\Delta S_{кор} = Pt$, где t - продолжительность эксплуатации оборудования.

Различают химическую и электрохимическую коррозию.

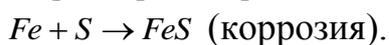
Химическая коррозия наблюдается в среде жидких диэлектриков или газов, нагретых до высоких температур. Это окислительно-восстановительный химический процесс, к которому относят кислородную, сероводородную, серную и водородную, а также некоторые другие виды коррозии в аппаратах с температурными режимами от 200 °С и выше.

Кислородная коррозия. При взаимодействии стали с кислородом воздуха (при повышенной температуре) образуется окалина - окислы металла:



Окалина не обладает механической прочностью и легко отслаивается от металла. Скорость окисления увеличивается с повышением температуры и концентрации кислорода.

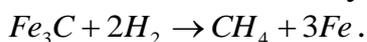
Серная и сероводородная коррозия наблюдается при переработке сернистого сырья в нефтеперерабатывающей, нефтехимической, химической и газовой отраслях промышленности, а также при производстве серы с образованием сернистого железа. В аппаратах, работающих при 310 °С и выше (печи, колонны, реакторы), происходит диссоциация сероводорода с образованием элементарной серы, которая и взаимодействует с металлом:



Сернистое соединение железа - пористое вещество, не обладающее механической прочностью и, кроме того, легко окисляющееся на воздухе с выделением значительного количества тепла, способного нагреть сульфиды до их самовозгорания.

Водородная коррозия, характерная для процесса производства аммиака, процессов гидрогенизации, гидроочистки и риформинга нефтепродуктов, особенно сильно проявляется при высоких давлениях и температурах.

Водородная коррозия относится к межкристаллитному типу. Установлен следующий механизм разрушения металла водородом. Диффузия водорода происходит в металл по границам структурных зерен. При этом наблюдается частичное растворение водорода и химическое взаимодействие его с цементитом стали по следующей реакции:



Этот процесс сопровождается разрушением структуры зерна и образованием мелких трещин. Образование трещин объясняется обезуглероживанием и тем, что удельный объем железа меньше удельного объема цементита. В образовавшиеся трещины проникает водород, вызывающий продолжение и ускорение процесса коррозии. Металл становится хрупким, его сопротивляемость удару и изгибу уменьшается.

Электрохимическая коррозия представляет собой процесс растворения металлов в электролитах в результате действия образующихся гальванических пар. Сущность процесса совпадает с работой гальванического элемента. Если металл не является однородным, отдельные его участки обладают различной способностью к растворению. Чем левее расположен металл в ряду напряженности, тем легче он растворяется в электролите. Отдельные участки поверхности аппарата, соприкасаясь с электролитом, будут служить анодом, другие - катодом. Схема коррозионного процесса, происходящего по указанному механизму, представлена на рис. 4.6.

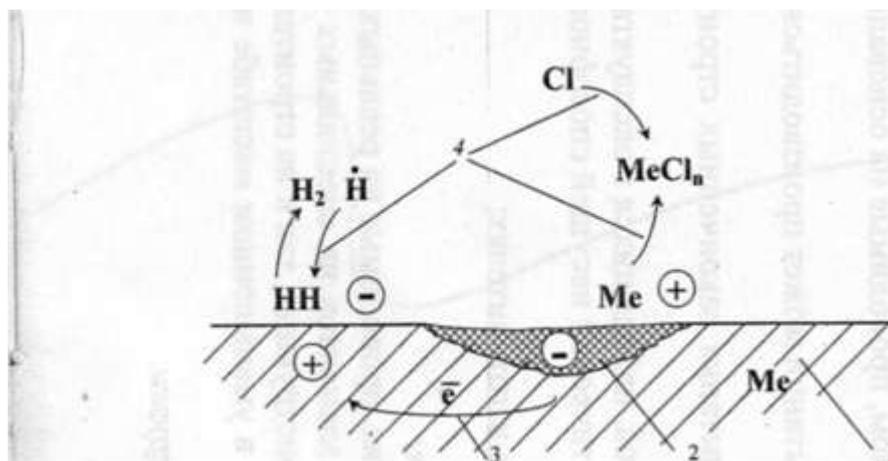


Рис. 4.6. Схема электрохимической коррозии: 1 - катодный участок; 2 - анодный участок; 3 - поток электронов в металле; 4 - поток ионов в электролите (раствор соляной кислоты)

Если неоднородный металл (например, железо плюс включения) поместить в электролит (например, в раствор соляной кислоты), то ионы более активного металла будут переходить в раствор. Участок оборудования, поверхность которого служит анодом, будет разрушаться. Отрицательные ионы электролита (в данном случае ионы хлора) перемещаются в направлении выделяющихся положительно заряженных ионов металла и, соединяясь с ними, образуют хлористую соль металла. В то же время положительно заряженные ионы электролита (водорода) перемещаются к отрицательно заряженным участкам стенки и, нейтрализуясь, образуют молекулу водорода.

Возникновение коррозии вызывается не только неоднородностью металла, но и многими другими причинами, например, неодинаковыми деформациями и напряжениями в различных участках, неоднородностью концентрации электролита, различными температурами на отдельных участках и т. п.

Мероприятия по защите от коррозии

Применение коррозионно-устойчивых металлов. В ряде случаев необходимая коррозионная стойкость металлических конструкций достигается использованием стойкого в данной коррозионной среде и при данных условиях материала (бронза - в растворах солей, титан - в растворах уксусной кислоты любых концентраций до +165 °С); нержавеющие хромоникелевые стали - в окислительных средах; алюминий - в 40%-ной муравьиной кислоте (до +20 °С) и т. п.

Рациональный выбор материала может быть сделан на основании справочных данных или специально поставленных экспериментов. В целях экономии высоколегированных нержавеющих сталей широко применяют биметалл - двухслойный материал, состоящий из двух различных металлов. Основной (толстый) слой воспринимает нагрузку. Тонкий (защитный или плакирующий) слой предохраняет основной слой от коррозионного действия среды.

Улучшение коррозионной стойкости стали в ряде случаев достигается за счет повышения однородности структуры соответствующей термической обработкой, устранением мест концентрации внутренних напряжений и деформацией или тонкой механической обработкой поверхности (шлифованием, полированием).

Изоляция металла от агрессивной среды защитными покрытиями используется в технологическом процессе наиболее часто. Металл покрывают лаками, нитрокрасками, масляными, глифталевыми и полихлорвиниловыми красками. От почвенной коррозии сооружения и трубопроводы защищают битумопековыми обмазками.

Защиту поверхностей от коррозии осуществляют также путем нанесения тонких металлических пленок (никелированием, лужением, хромированием, серебрением, золочением) и при помощи футеровки — внутренней облицовки аппаратов химически стойкими материалами: керамической плиткой, графитом, свинцом, алюминием, пластическими массами, резиной и т. п. Основным недостатком футеровки заключается в наличии швов, стыков и мест крепления, которые наиболее часто повреждаются.

Уменьшение коррозионной активности среды осуществляется путем очистки обрабатываемых веществ от агрессивных примесей, а также введением замедлителей коррозии - ингибиторов.

Очистку от агрессивных примесей осуществляют путем отстаивания, фильтрации, химическим путем, а также при помощи абсорбции и адсорбции. Все эти способы требуют применения специальных установок и затрат значительного количества энергии. В качестве ингибиторов экономически выгодно применять органические или неорганические соединения, например, уротропин, декстрин, хроматы, нитраты, фосфаты металлов, образующие на поверхности металла различного вида защитные пленки. Содержание ингибитора в обрабатываемых веществах обычно не превышает 0,01-1 %. Уменьшения почвенной коррозии можно добиться путем снижения ее влажности осушкой, засыпкой мест установки аппаратов и прокладки трубопроводов битуминозными землями.

Применение неметаллических химически стойких материалов нашло широкое распространение. Используются пластические массы, искусственные смолы и резины, полиэтилен, полипропилен, поли-винилхлорид, полистирол, капрон, фторопласты, эбонит, сложные пластики и другие природные неорганические материалы (гранит, базальт), а также искусственно получаемые силикатные материалы (фарфор, стекло, керамика, цемент). Неметаллические материалы применяют не только для футеровки металлических аппаратов, но и для изготовления корпусов аппаратов, труб, насосов, отдельных узлов и деталей технологических установок.

Установки катодной и протекторной защиты от электрохимической коррозии предназначены для подавления анодных участков на защищаемом сооружении. Эти установки позволяют создать разность потенциалов между защищаемым сооружением и грунтом, при которой все сооружение становится катодом. Для возникновения разности потенциалов отрицательный полюс

источника постоянного тока соединяют с защищаемым сооружением, а положительный полюс через электроды-заземлители (анодное заземление) соединяют с фунтом (рис. 4.7). Таким образом, вся поверхность металлического подземного сооружения становится катодом и предохраняется от коррозионного разрушения.

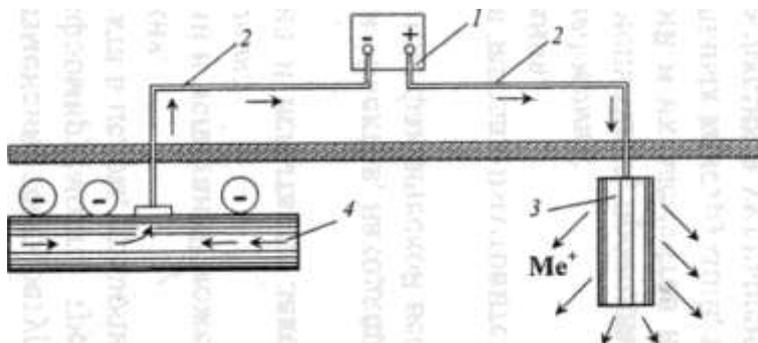


Рис. 4.7. Схема катодной защиты: 1 - источник тока; 2 - провод; 3 - анодное заземление; 4 - защищаемое сооружение

Активному разрушению подвергается анодное заземление, которое обычно выполняют из металлолома (старых труб, рельсов). Для установки катодной защиты используют источники постоянного тока напряжением 6-12 В, обеспечивающие плотность защитного тока от 2 до 20 мА на 1 м защищаемой поверхности. При хорошей битумной изоляции поверхности защищаемого участка одна катодная установка может защитить трубопровод протяженностью от 10 до 20 км или 5-10 резервуаров емкостью 5000-10 000 м³ каждый. Магистральные газопроводы и нефтепроводы большой протяженности без катодной защиты в эксплуатацию не вводятся. Срок службы трубопровода, имеющего такую защиту, увеличивается на 20 и более лет.

Протекторную защиту (рис. 4.8) выполняют при помощи присоединения к защищаемому сооружению гальванических анодов - протекторов, электрохимический потенциал которых ниже, чем у защищаемого сооружения. Протекторная защита не требует источников тока (что снижает эксплуатационные расходы) и обеспечивает взрывобезопасность.

При протекторной защите электрический ток необходимого направления получается в результате создания искусственных гальванопар, у которых катодом является защищаемый металл, анодом - чистые металлы (цинк, магний, алюминий). Аноды изготавливают в виде пластин, стержней, труб и размещают на расстоянии 1-5 м от защищаемого объекта с шагом 20 м. Для повышения эффективности работы протектор помещают в специально приготовленную смесь солей, глины и воды (активатор). Проводят надзор за состоянием аппаратуры.

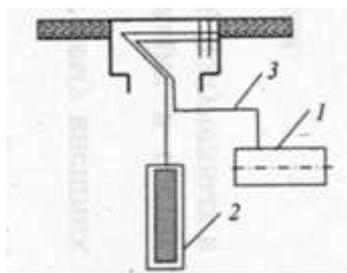


Рис. 4.8. Протекторная защита подземного трубопровода: 1 - трубопровод; 2 - автономный анод (протектор); 3 - провод

Контрольные вопросы

Дайте определение термину прочность.

Какими мероприятиями обеспечивается прочность технологического оборудования?

Назовите основные причины, приводящие к повреждению технологического оборудования. Классификация причин повреждений.

Что понимается под механическим воздействием на технологическое оборудование?

Назовите мероприятия, позволяющие предотвратить переполнение технологического оборудования жидкостями и газами.

При каких условиях возникают динамические нагрузки в аппаратах?

Дайте определение понятию динамический коэффициент.

С какой целью на аппаратах устанавливаются предохранительные клапаны? Какие они бывают по конструктивному исполнению?

Назовите необходимые условия выбора предохранительных клапанов для установки их на защищаемый аппарат.

При каких условиях в материале аппаратов наступают температурные перенапряжения?

С какой целью на трубопроводах применяются температурные компенсаторы? Их классификация.

Назовите мероприятия, предупреждающие возникновение аварий от температурных воздействий.

Что понимается под термином ползучесть материала? Меры профилактики.

Что понимается под термином хладоломкость стали? Меры профилактики.

Что понимается под термином коррозия материала? Основные виды коррозии.

Как оценивается коррозионная стойкость металлов? Что понимается под скоростью коррозии?

Назовите основные виды химической коррозии. Что понимается под кислородной коррозией?

Что понимается под сероводородной и водородной коррозией?

В чем сущность процесса электрохимической коррозии?

Назовите основные мероприятия по защите материалов от коррозии.

ЛИТЕРАТУРА

Пожарная безопасность технологических процессов: Рабочая программа. - М.: Академия ГПС МЧС России, 2003.

ССБТ Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля (ГОСТ Р 12.3.047-98). - М.: Госстандарт России, 1998.

Алексеев М.В., Волков О.М., Шатров Н.Ф. Пожарная профилактика технологических процессов производств. - М.: ВИПТШ МВД СССР, 1985.

Лекция 5

КАТЕГОРИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ, ЗДАНИЙ И НАРУЖНЫХ УСТАНОВОК ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

Назначение систем категорирования помещений, зданий и наружных установок

Разработка экономически эффективных систем пожарной безопасности объектов осуществляется на основании положения п. 1.4 ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования» после их предварительного отнесения к соответствующим категориям по взрывопожарной и пожарной опасности согласно нормам пожарной безопасности. ГОСТ Р 12.3.047-98 «Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля» также требует определять расчетом категории помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

Согласно СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания», СНиП 2.09.03-85* «Сооружения промышленных предприятий», СНиП 2.11.03-93 «Склады нефти и нефтепродуктов. Противопожарные нормы» и другим нормам, разработка объемно-планировочных и конструктивных решений осуществляется на основании установления принадлежности зданий, пожарных отсеков, помещений и сооружений к определенным категориям по взрывопожарной и пожарной опасности. В ц. 33 «Правил пожарной безопасности в Российской Федерации» (ППБ 01-03) записано, что для всех производственных и складских помещений должны быть определены категории взрывопожарной и пожарной опасности.

Категорирование помещений и зданий позволяет нормировать требования по обеспечению взрывопожарной и пожарной безопасности не только в части планирования и застройки, этажности, площадей, размещения помещений, конструктивных решений инженерного оборудования, но и в части обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений в целом согласно СНиП 21.01-

97* «Пожарная безопасность зданий и сооружений», обеспечения выполнения требований НПБ 110-99 «Перечень зданий, сооружений и помещений, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и автоматической пожарной сигнализацией», НПБ 111-98* «Автозаправочные станции. Требования пожарной безопасности» и других норм и правил пожарной безопасности, в частности ПБ 09-170-97 «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств».

Требования указанных нормативных документов в части категорирования помещений, зданий и наружных установок должны учитываться в проектах на строительство, расширение, реконструкцию и техническое перевооружение, при изменениях технологических процессов и при эксплуатации объектов.

Категорирование помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности

В рассматриваемом документе НПБ 105-03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» приводится классификация помещений и зданий производственного или складского назначения по взрывопожарной и пожарной опасности (без детальной их классификации по взрывоопасное™ и необходимых защитных мероприятий), а также дается общая методика установления принадлежности этих помещений и зданий к определенным категориям.

Классификация категорий помещений

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на 8 категорий: А, Б, В1-В4, Г и Д. Классификация помещений в соответствии с характеристикой находящихся (обращающихся) в них веществ и материалов приведена в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении	Дополнительные условия
А взрыво-пожаро-опасная	-Горючие газы -Легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С -Вещества и/или материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и/или друг с другом	Расчетное избыточное давление взрыва горючей смеси в помещении превышает 5 кПа
Б взрыво-пожаро-опасная	-Горючие пыли и/или волокна -Легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С	Расчетное избыточное давление взрыва горючей смеси в помещении

	-Горючие жидкости	превышает 5 кПа
В1-В4 пожароопасные (см. табл. 5.2)	-Горючие и/или трудногорючие жидкости -Твердые горючие и/или трудногорючие вещества и/или материалы (в том числе пыли и/или волокна) -Вещества и/или материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и/или друг с другом только гореть	Помещение не относится к категориям А или Б
Г	-Негорючие вещества и/или материалы в горячем, раскаленном и/или расплавленном состоянии -Горючие газы, жидкости и/или твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива	Процесс обработки негорючих веществ сопровождается выделением лучистого тепла, искр и/или пламени
Д	-Негорючие вещества и/или материалы в холодном состоянии	Не реализуются критерии, позволяющие относить помещение к категориям А, Б, В или Г

Принадлежность помещений к пожароопасным категориям В1-В4 определяется в соответствии с признаками, приведенными в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Категория помещения	Удельная временная пожарная нагрузка на участке, МДж/м ²	Дополнительные условия
В1	Более 2200	Способ размещения пожарной нагрузки не нормируется.
В2	Более 1400 до 2200 вкл.	Пожарная нагрузка не превышает предельного значения.
В3	Более 180 до 1400 вкл.	Пожарная нагрузка не превышает предельного значения.
В4	До 180 вкл.	На любом участке пола помещения площадью до 10 м ² . Расстояния между участками с пожарной нагрузкой должны быть больше предельных.

Примечание. В помещениях категорий В1-В4 допускается наличие нескольких участков с удельной пожарной нагрузкой, не превышающей указанных в табл. 5.2 значений.

КРИТЕРИИ КАТЕГОРИРОВАНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ.

К основным критериям категорирования (т. е. признакам классификации) помещений по взрывопожарной и пожарной опасности относятся:

- класс (вид) горючего вещества или материала и показатели его взрывопожарной опасности;
- особенности ведения производственного процесса;

-расчетное избыточное давление взрыва горючей смеси в помещении*, кПа;

удельная временная пожарная нагрузка на участке*, МДж/м².

К дополнительным критериям категорирования помещений по пожарной опасности относятся:

-предельная пожарная нагрузка на пожароопасном участке в помещениях категорий В2 и В3*, МДж;

предельная площадь участка с пожарной нагрузкой в помещении категории В4*, м²;

предельное расстояние между участками с пожарной нагрузкой в помещении категории В4, м.

Примечание. Критерии, отмеченные знаком ', имеют нормируемые численные значения.

Выбор и обоснование расчетного варианта

Понятие расчетного варианта

В качестве расчетного выбирают наиболее неблагоприятный вариант аварии или период нормальной работы, когда во взрыве участвует наибольшее количество наиболее опасных в отношении последствий взрыва веществ и материалов, для которого расчетное избыточное давление взрыва горючей (газо-, паро- или пылевоздушной) смеси превышает 5 кПа.

Предпосылки, положенные в основу расчетного определения количества поступившего в помещение вещества

Количество поступившего в помещение горючего газа и/или пара жидкости, которое может образовать горючую смесь, определяют, исходя из следующих предпосылок:

- а) происходит авария одного аппарата (блока);
- б) все содержимое аппарата поступает в помещение;
- в) происходит утечка веществ из трубопроводов, связанных с аварийным аппаратом, в течение необходимого для их отключения времени;
- г) происходит испарение с поверхности разлившейся на полу помещения жидкости;
- д) в помещение поступают пары жидкостей из открытых в нормальном состоянии емкостей и со свежеокрашенных поверхностей;
- е) длительность испарения жидкости принимают равной времени ее полного испарения, но не более 3600 с.

Количество поступившей в помещение горючей пыли и/или волокон, которое может образовать горючую смесь, определяют, исходя из следующих предпосылок:

- а) расчетной аварии предшествовало накопление пыли в помещении в условиях нормального режима работы оборудования;

б) в момент расчетной аварии произошла плановая или внеплановая разгерметизация одного из аппаратов, за которой последовал аварийный выброс в помещение всей находившейся в нем пыли;

в) происходит также утечка пыли из трубопроводов, связанных с аппаратом, в течение времени, необходимого для их отключения.

Количественная оценка критериев категорирования помещения

Показатели взрывопожарной опасности веществ и материалов

В зависимости от класса (вида) горючих веществ и материалов, обрабатываемых в технологическом процессе, определяют показатели их взрывопожарной опасности. Определение показателей взрывопожарной опасности веществ и материалов производят в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.044-89 на основании результатов исследований или расчетов по стандартным методикам. Допускается использование справочных данных. Для смесей веществ и материалов допускается использование показателей взрывопожарной опасности по наиболее опасному компоненту. На основании найденных показателей также выявляется способность веществ и материалов взрываться и гореть или только гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и/или друг с другом.

Особенности производственного процесса

Выявить специфические особенности производственного процесса, которые влияют на выбор категории помещения, можно из расчетно-пояснительной записки к технологической части проекта, технологического регламента или непосредственно на действующем производстве. К таким особенностям относятся:

Технологические параметры процесса, приводящие к образованию горючей смеси в помещении:

рабочая температура пожароопасной жидкости, превышающая температуру ее вспышки;

давление и температура среды в аппарате с пожароопасной жидкостью, с учетом которых устанавливается возможность образования взрывоопасного аэрозоля при аварийном истечении жидкости.

Явления или технологические параметры процесса, приводящие к появлению источника зажигания в помещении:

нагретые в аппаратах до температуры самовоспламенения и выше горючие вещества;

нагретые, раскаленные и/или расплавленные негорючие материалы, обработка которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и/или пламени; (

сжигание и/или утилизация горючих веществ и материалов в качестве топлива.

Расчет избыточного давления взрыва

Определение избыточного давления взрыва горючей смеси в помещении для любых классов горючих веществ и материалов (индивидуальных газов и паров, их смесей, пылей и волокон, а также веществ, способных взрываться и гореть при контакте с водой, кислородом воздуха и/или друг с другом) производят по формуле

$$\Delta p = \frac{p_0 m Q_H^P z}{K V_{CB} (273 + t_p) c_p \rho_B K_H} \cdot 1, \quad (5.1)$$

где Δp - избыточное давление взрыва горючей смеси, кПа; p_0 - атмосферное давление; допускается принимать равным 101 кПа; m - масса горючих веществ (газов, паров или пылей), вышедших в результате аварии в помещение, кг; Q_H^P - низшая теплота сгорания вещества, кДж/кг; z - коэффициент участия горючего во взрыве, который для газов и паров ненагретых жидкостей определяют по методике, приведенной в приложении к НПБ 105-03;

допускается принимать величину z по табл. 2 НПБ 105-03; $K = \frac{AT}{3600} + 1$ - коэффициент, учитывающий работу аварийной вентиляции в помещении, в котором обращаются горючие газы и пожароопасные жидкости (A - кратность воздухообмена, создаваемого аварийной вентиляцией, ч; T - длительность поступления горючих веществ в помещение, с); $V_{CB} = K_{CB} * a * b * h$ - свободный объем помещения, м³ (K_{CB} - доля объема помещения, не занятого оборудованием; допускается принимать $K_{CB} = 0,8$; a, b, h - длина, ширина и высота производственного помещения, м); t_p - расчетная температура, °С; в качестве расчетной температуры принимают:

-максимально возможную температуру воздуха в помещении согласно СНиП 23.01-99;

-максимально возможную температуру воздуха в помещении по технологическому регламенту с учетом возможного повышения температуры в аварийной ситуации;

-допускается принимать $t_p = 61$ °С при отсутствии иных данных; c_p - теплоемкость воздуха при расчетной температуре; допускается принимать $c_p = 1,01$ кДж/(кг*К); ρ_B - плотность воздуха при расчетной температуре, кг/м³; K_H - коэффициент негерметичности помещения и неадиабатичности процесса горения; допускается принимать $K_H = 3$.

Для индивидуальных газов или паров, состоящих из атомов С, Н, О, N и галогенов, избыточное давление взрыва определяют по формуле

$$\Delta p = (p_{max} - p_0) \frac{m z}{K V_{CB} \rho_{г.н} \varphi_{ст} K_H} \cdot 100 \cdot 1, \quad (5.2)$$

где p_{max} - максимальное давление взрыва стехиометрической газо- или паровоздушной смеси (определяется экспериментально или принимается по

справочной литературе; при отсутствии данных допускается принимать $p_{max} = 900$ кПа); $\rho_{г.п}$ - плотность газа (пара) при расчетной температуре, кг/м³; $\varphi_{СТ}$ - стехиометрическая концентрация горючего вещества, % (об.).

Если в производственном помещении обращаются вещества и материалы, способные взрываться и гореть при контакте с водой, кислородом воздуха или друг с другом, и не представляется возможным определить величину Δp , то ее следует принимать превышающей 5 кПа.

Для гибридной взрывоопасной смеси, т. е. смеси, состоящей из горючего газа (пара) и пыли (волокон), расчетное избыточное давление взрыва Δp , кПа, определяют по формуле

$$\Delta p = \Delta p_{г} + \Delta p_{п}, \quad (5.3)$$

где $\Delta p_{г}$ и $\Delta p_{п}$ - расчетное давление взрыва, вычисленное соответственно для горючего газа (пара) и для горючей пыли (волокон), кПа.

Удельная временная пожарная нагрузка

Удельную временную пожарную нагрузку определяют из выражения:

$$g = \frac{Q}{S}, \quad (5.4)$$

где g - удельная временная пожарная нагрузка, МДж/м², S - площадь участка с пожарной нагрузкой, м²; величину S определяют по данным проектных материалов или путем проведения замеров на реальном объекте, но в любом случае принимают равной не менее 10 м²; Q - пожарная нагрузка на пожароопасном участке, МДж; пожарную нагрузку, включающую в себя различные сочетания ЛВЖ, ГЖ, трудногорючих жидкостей, твердых горючих и трудногорючих веществ и материалов в пределах пожароопасного участка, находят по формуле

$$Q = \sum_{i=1}^n m_i Q_{Hi}^p, \quad (5.5)$$

где m_i - масса i -го вещества или материала пожарной нагрузки, кг; Q_{Hi}^p - низшая теплота сгорания i -го вещества или материала, МДж/кг; n - количество видов веществ и материалов на пожароопасном участке.

Предельная пожарная нагрузка

Предельное значение пожарной нагрузки на любом участке пола в помещениях категорий В2 или В3 определяют из выражения

$$Q_{пр} = 0,64 g_T H^2, \quad (5.6)$$

где $Q_{пр}$ - предельная пожарная нагрузка, МДж; g_T - предельная величина удельной временной пожарной нагрузки, определяемая из следующих выражений:

$$g_T = 2200 \text{ МДж/м}^2 \text{ при } 1401 \text{ МДж/м}^2 \leq g \leq 2200 \text{ МДж/м}^2,$$

$$g_T = 1400 \text{ МДж/м}^2 \text{ при } 181 \text{ МДж/м}^2 \leq g \leq 1400 \text{ МДж/м}^2.$$

H — минимальное расстояние от поверхности пожарной нагрузки до нижнего пояса ферм перекрытия (покрытия), м.

Если фактическая пожарная нагрузка в помещении категории В2 или В3 равна или превышает предельную, т. е. выполняется условие $Q \geq Q_{\text{пр}}$, то данное помещение соответственно относится к категории В1 или В2.

Предельная площадь участка

Предельная площадь участка с пожарной нагрузкой в помещении категории В4 $S_{\text{пр}} = 10\text{м}^2$. Если фактическая площадь S любого участка с пожарной нагрузкой в помещении категории В4 равна или превышает предельную $S_{\text{пр}}$, т. е. выполняется условие $S \geq S_{\text{пр}}$, то данное помещение относится к категории В3.

Предельное расстояние между участками

Предельные расстояния между участками с пожарной нагрузкой в помещениях категории В4 зависят от класса (вида) пожарной нагрузки, критической плотности падающего лучистого потока на материал $q_{\text{кр}}$ и минимального расстояния H от поверхности пожарной нагрузки до нижнего пояса ферм перекрытия (покрытия).

Предельное расстояние $l_{\text{пр}}$, м, между соседними участками с пожарной нагрузкой, состоящей из твердых горючих и трудногорючих материалов, можно оценить по формуле

$$l_{\text{пр}} = 34,2 q_{\text{кр}}^{-0,64}, \quad (5.7)$$

где $q_{\text{кр}}$ - критическая плотность падающего лучистого потока на материал, кВт/м².

Если $q_{\text{кр}}$ пожарной нагрузки не известна, то принимают $l_{\text{пр}} = 12$ м.

Для пожарной нагрузки, состоящей из твердых горючих и трудногорючих материалов, фактическое расстояние l между участками принимают из следующих выражений:

$$\begin{aligned} l &> l_{\text{пр}} && \text{при } H \geq 11 \text{ м;} \\ l &> l_{\text{пр}} + (11 - H) && \text{при } H < 11 \text{ м.} \end{aligned}$$

Предельное расстояние между соседними участками с пожарной нагрузкой, состоящей из пожароопасных жидкостей, принимают из следующих выражений:

$$\begin{aligned} l_{\text{пр}} &= 15 \text{ м} && \text{при } H \geq 11 \text{ м;} \\ l_{\text{пр}} &= 26 - H, \text{ м} && \text{при } H < 11 \text{ м.} \end{aligned}$$

Фактическое расстояние l между соседними участками разлива или открытыми аппаратами с жидкостями принимают больше предельного расстояния $l_{\text{пр}}$.

В случае, если фактическое расстояние l между соседними участками с любым видом пожарной нагрузки не превышает предельного значения $l_{\text{пр}}$, т. е. выполняется условие $l < l_{\text{пр}}$, то такие близко расположенные участки считаются одним общим участком.

Определение категории помещения

Определение категории помещения по взрывопожарной и пожарной опасности осуществляют путем последовательной проверки его принадлежности к категориям от высшей А к низшей Д в соответствии с характеристикой вещества и/или материала, находящегося (обращающегося) в помещении, численными значениями рассчитанных критериев категорирования помещения, а также с учетом специфических особенностей производственного процесса.

Критерии категорирования здания (пожарного отсека)

К критериям категорирования (признакам классификации) здания (пожарного отсека) по взрывопожарной и пожарной опасности относятся:

- наличие в категорированных помещениях установок автоматического пожаротушения;
- площадь категорированных помещений, оборудованных установками автоматического пожаротушения ;
- площадь категорированных помещений, не оборудованных установками автоматического пожаротушения ;
- процент площади категорированных помещений от общей площади помещений*.

Примечание. Критерии, отмеченные знаком, имеют нормируемые численные значения.

Количественная оценка критериев категорирования здания (пожарного отсека)

Площадь категорированных помещений

Суммарную площадь помещений N -й категории $S_{об.н/об}^N$, m^2 , оборудованных $S_{об}^N$ и не оборудованных $S_{н/об}^N$ установками автоматического пожаротушения, определяют из выражения

$$S_{об.н/об}^N = \sum_{i=1}^{n_k} S_{об.и/об.j}^N \quad (5.8)$$

где $S_{об.и}^N$ - площадь i -го помещения N -й категории, оборудованного установкой автоматического пожаротушения, m^2 ; $S_{н/об.j}^N$ - площадь j -го помещения N -й категории, не оборудованного установкой автоматического пожаротушения, m ; n и k - количество помещений N -й категории, соответственно оборудованных и не оборудованных установками автоматического пожаротушения.

Процент площади категорированных помещений

Процент суммарной площади помещений N -й категории δ^N , оборудованных $S_{об}^N$ и не оборудованных $S_{н/об}^N$ установками автоматического пожаротушения, от площади всех помещений здания (или пожарного отсека) определяют из следующего выражения:

$$\delta^N = \frac{S_{об.иоб}^N}{S_n} 100\% , \quad (5.9)$$

где S_n - площадь всех помещений (производственных, складских, административных, бытовых и иных помещений, включая коридоры, тамбуры и тому подобные помещения) в здании (пожарном отсеке), включая подвальные помещения, м².

Определение категории здания (пожарного отсека)

Согласно НПБ 105-03, для зданий установлено пять категорий: А, Б, В, Г и Д . Определение категории здания производится путем последовательной проверки его принадлежности к категориям от высшей А к низшей Д при сопоставлении рассчитанных критериев категорирования здания с их нормируемыми значениями в строгом соответствии с формулировками категорий зданий.

Категорирование наружных установок по пожарной опасности

Рассматриваемый документ НПБ 105-03 устанавливает методику определения категорий пожарной опасности наружных установок производственного и складского назначения без оценки уровня их взрывоопасности. Под наружной установкой понимают комплекс аппаратов и технологического оборудования, расположенных вне зданий, с несущими и обслуживающими конструкциями.

Классификация категорий наружных установок

По пожарной опасности наружные установки подразделяются на категории А_н, Б_н, В_н, Г_н и Д_н, характеристики которых приведены в табл. 5.3.

Категория наружной установки	Характеристика веществ и материалов, присутствующих на наружной установке	Дополнительные условия
А _н	-Горючие газы -Легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С -Вещества и/или материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и/или друг с другом	R _{в30} >1*10 ⁻⁶ год ⁻¹ или R _{нПКР} >30 м
Б _н	-Горючие пыли и/или волокна -Легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С -Горючие жидкости	или Δр ₃₀ >5 кПа
В _н	-Горючие и/или трудногорючие жидкости	Установка не относится к

	-Твердые горючие и/или трудногорючие вещества и/или материалы (в том числе пыли и/или волокна) -Вещества и/или материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и/или друг с другом только гореть	категориям А _н и Б _н и $R_{п30} > 1 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ или $q_{30} > 4 \text{ кВт/м}^2$
Г _н	-Негорючие вещества и/или материалы в горячем, раскаленном и/или расплавленном состоянии -Горючие газы, жидкости и/или твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива	Процесс обработки негорючих веществ сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени
Д _н	-Негорючие вещества и/или материалы в холодном состоянии	Установка не относится к категориям А _н , Б _н , В _н , или Г _н

Критерии пожарной опасности

К основным критериям (признакам классификации) пожарной опасности наружной установки относятся:

- класс (вид) горючих веществ и материалов и показатели их пожарной опасности;

- индивидуальный риск при сгорании газо-, паро- или пылевоздушной смеси ;

- индивидуальный риск при сгорании веществ и материалов.

К дополнительным критериям относятся:

- горизонтальный размер зоны газо- или паровоздушной смеси;

- избыточное давление и импульс волны давления при сгорании газо-, паро- или пылевоздушной смеси,

- интенсивность теплового излучения при горении твердых материалов (включая горение пыли), проливов ЛВЖ или ПК, а также при образовании «огненного шара».

Примечание. Критерии, отмеченные знаком, имеют нормируемые численные значения.

Выбор и обоснование расчетного варианта

Для выбора и обоснования расчетного варианта необходимо:

Рассмотреть возможные варианты сценариев аварий и определить вероятности их реализации Q_{wi} на основании статистических данных или методик, изложенных в ГОСТ 12.1.004-91 и ГОСТ Р 12.3.047-98.

Для каждого варианта аварии определить:

значения расчетного избыточного давления Δp_i ;

значения $G_i = Q_{wi} \Delta p_i$.

3.В качестве расчетного принять вариант сценария, для которого величина G имеет максимальное значение.

Примечание. При невозможности выбора расчетного варианта данным способом выбирают наиболее неблагоприятный вариант аварии или период нормальной работы оборудования, при котором в образовании горючей смеси участвует наибольшее количество газов, паров и/или пылей наиболее опасных в отношении последствий их сгорания. Предпосылки для выбора расчетного варианта были рассмотрены при изучении п. 5.2.3 б данной главы.

Количественная оценка критериев пожарной опасности

Показатели взрывопожароопасности веществ и материалов (см. п. 5.2.4 данной главы).

Особенности производственного процесса (см. п. 5.2.4 данной главы).

Индивидуальный риск при сгорании газо-, паро- или пылевоздушных смесей

Величину индивидуального риска при быстром сгорании (взрыве) газо-, паро- или пылевоздушных смесей определяют из выражения

$$R_{\text{взв}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{в}i} Q_{\text{п}i}, \quad (5.10)$$

где $Q_{\text{в}i}$ - вероятность возникновения i -й аварии со взрывом горючей смеси; значения $Q_{\text{в}i}$ определяют из статистических данных или расчетом по ГОСТ 12.1.004-91 или ГОСТ Р 12.3.047-98; допускается учитывать только одну неблагоприятную аварию, принимая величину $Q_{\text{в}}$, равной $Q_{\text{п}}$ (вероятности возникновения пожара на установке); $Q_{\text{вп}i}$ - условная вероятность поражения человека избыточным давлением взрыва на расстоянии 30 м от наружной установки при i -й аварии; величину $Q_{\text{вп}i}$ определяют по табл. 3 НПБ 105-03 по результатам расчета избыточного давления Δp и импульса волны давления i при сгорании горючей смеси на расстоянии r от эпицентра взрыва.

Индивидуальный риск при сгорании веществ и материалов или возникновении «огненного шара»

Величину индивидуального риска при сгорании веществ и материалов или возникновении «огненного шара» определяют из выражения

$$R_{\text{п}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{ф}i} Q_{\text{п}i}, \quad (5.11)$$

где $Q_{\text{ф}i}$ - вероятность возникновения i -й аварии на установке с пожаром проливов ЛВЖ, ГЖ, твердых горючих материалов или образованием «огненного шара»; значения $Q_{\text{ф}i}$ определяют из статистических данных либо расчетом по ГОСТ 12.1.004-91 или ГОСТ Р 12.3.047-98; допускается учитывать только одну наиболее неблагоприятную аварию, принимая величину $Q_{\text{ф}}$, равную $Q_{\text{п}}$, (вероятности возникновения пожара на установке); $Q_{\text{фп}i}$ - условная вероятность поражения человека тепловым излучением на расстоянии 30 м от наружной установки при i -й аварии; величину $Q_{\text{фп}i}$ определяют по табл. 9 НПБ

105-03 по результатам расчета интенсивности теплового излучения q для пожаров проливов ЛВЖ или ГЖ, горения твердых горючих материалов или «огненного шара» и некоторым другим данным; и - количество рассматриваемых аварий.

Горизонтальный размер зоны газо- или паровоздушной смеси

Горизонтальный размер зоны $R_{\text{НКПР}}$, м, газо- или паровоздушной смеси от стенки аппарата, трубопровода, границ установки и т. д. до границы, где концентрация равна НКПР, определяют по формулам:

- для горючих газов

$$R_{\text{НКПР}} = 14,5632 \left(\frac{m}{\rho_r \varphi_n} \right)^{0,333}; \quad (5.12)$$

- для паров ненагретых пожароопасных жидкостей ($t_{\text{ж}} \leq t_p$)

$$R_{\text{НКПР}} = 3,1501 \sqrt{K} \left(\frac{P_n}{\varphi_n} \right)^{0,813} \left(\frac{m}{\rho_n P_n} \right)^{0,333}, \quad (5.13)$$

где φ_n - нижний концентрационный предел распространения пламени, % (об.); ρ_n - плотность паров при расчетной температуре и атмосферном давлении, кг/м³;

$K = \frac{T}{3600}$ - коэффициент; T - продолжительность испарения ЛВЖ или ГЖ, с; $t_{\text{ж}}$ - рабочая

температура жидкости, °С; t_p - расчетная температура - максимально возможная температура воздуха в соответствующей климатической зоне, °С; допускается принимать $t_p = 61$ °С.

Во всех случаях $R_{\text{НКПР}} \geq 0,3$ м.

Избыточное давление при быстром сгорании (взрыве) горючей смеси

Определение избыточного давления Δp , кПа, развиваемого при быстром сгорании (взрыве) горючей смеси в открытом пространстве, производят по формуле

$$\Delta p = 101(0,8m_{\text{ПР}}^{0,33} / r + 3m_{\text{ПР}}^{0,66} / r^2 + 5m_{\text{ПР}} / r^3), \quad (5.14)$$

Где $m_{\text{ПР}}$ - приведенная масса горючего вещества, кг; r - расстояние от геометрического центра взрывоопасного облака, м.

$$m_{\text{ПР}} = \frac{Q_{\text{cr}}}{Q_0} m_z \quad (5.15)$$

где Q_{cr} - низшая теплота сгорания вещества, Дж/кг; Q_0 - константа; при взрыве газо- или паровоздушной смеси $Q_0 = 4,52 \cdot 10^6$ Дж/кг; при взрыве пылевоздушной смеси $Q_0 = 4,6 \cdot 10^6$ Дж/кг; z - доля участия горючего во взрыве; допускается принимать для газов и паров $z = 0,1$; для пылей или волокон $0,02 \leq z \leq 0,1$.

Импульс волны давления при быстром сгорании (взрыве) горючей смеси

Определение импульса волны давления i , кПа-с, при быстром сгорании (взрыве) горючей смеси в открытом пространстве производят по формуле

$$i = 0,123 m_{\text{взр}}^{0,66} / r. \quad (5.16)$$

Интенсивность теплового излучения

Интенсивность теплового излучения q , кВт/м², пожара пролива пожароопасной жидкости, горения твердых материалов (включая горение пыли) или крупномасштабного диффузионного горения («огненного шара») рассчитывают по формуле

$$q = E_t F_q \tau, \quad (5.17)$$

где E_t - среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени, кВт/м²; величина E , зависит от диаметра очага и принимается на основе экспериментальных или справочных данных, из литературных источников. При отсутствии данных допускается принимать E_t :

- 40 кВт/м² при горении пролива ЛВЖ, ГЖ и твердых материалов;
- 100 кВт/м² при горении пролива СУГ;
- 450 кВт/м² при образовании «огненного шара»;

F_q - угловой коэффициент облученности; τ - коэффициент пропускания атмосферы.

Определение категории наружной установки

Определение категории наружной установки по пожарной опасности осуществляют путем последовательной проверки ее принадлежности к категориям от высшей A_H к низшей D_H , в соответствии с характеристикой вещества и/или материала, находящегося (обращающегося) на установке, численными значениями рассчитанных критериев категорирования, а также с учетом специфических особенностей производственного процесса.

Контрольные вопросы

Какие методики устанавливают нормы пожарной безопасности НПБ 105-03?

Какие помещения подлежат категорированию по взрывопожарной и пожарной опасности в соответствии с требованиями НПБ 105-03?

На каких стадиях жизнедеятельности производственных и складских объектов производят расчетное определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности?

Назовите основные критерии категорирования (признаки классификации) помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

Какой расчетный вариант выбирают при расчете значений критериев взрывопожарной опасности?

Исходя из каких предпосылок определяют количество поступающих в помещение веществ, которые могут образовать взрывоопасные газо- или паровоздушные смеси?

Какие помещения относятся к взрывопожароопасной категории А?

Какие помещения относятся к взрывопожароопасной категории Б?

Какие помещения относятся к взрывопожароопасной категории В1?

Какие помещения относятся к взрывопожароопасной категории В2?

Какие помещения относятся к взрывопожароопасной категории В3?

Какие помещения относятся к взрывопожароопасной категории В4?

Какие помещения относятся к взрывопожароопасной категории Г?

Какие помещения относятся к взрывопожароопасной категории Д?

Чему равен коэффициент участия во взрыве горючего газа (кроме водорода) при определении величины избыточного давления?

Чему равен коэффициент участия во взрыве паров легко воспламеняющихся и горючих жидкостей, нагретых до температуры вспышки и выше при определении величины избыточного давления?

Чему равен коэффициент участия во взрыве паров легко воспламеняющихся и горючих жидкостей, нагретых ниже температуры вспышки, но при наличии возможности образования аэрозоля, при определении величины избыточного давления?

Чему равен коэффициент участия во взрыве паров легко воспламеняющихся и горючих жидкостей, нагретых ниже температуры вспышки и при отсутствии возможности образования аэрозоля, при определении величины избыточного давления?

Напишите формулу, по которой определяют коэффициент участия во взрыве взвешенной пыли при определении величины избыточного давления.

Каким допускается принимать коэффициент свободного объема помещения?

Каким допускается принимать коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения?

Исходя из каких предпосылок определяют количество поступающей в помещение пыли, которая может образовать взрывоопасную смесь?

Чему равен коэффициент пыления при определении расчетной массы пыли дисперсностью не менее 350 мкм, поступившей в помещение в результате аварийной ситуации?

Чему равен коэффициент пыления при определении расчетной массы пыли дисперсностью менее 350 мкм, поступившей в помещение в результате аварийной ситуации?

Чему равно расчетное время отключения трубопроводов, если вероятность отказа системы автоматики превышает $1 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹ и не обеспечено резервирование ее элементов?

Чему равно расчетное время отключения трубопроводов при ручном отключении?

Исходя из каких предпосылок определяют площадь поверхности испарения разлившейся при аварии жидкости?

Допускается ли учитывать работу приточно-вытяжной вентиляции при расчетном определении категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности?

Укажите значение температуры воздуха в помещении, принимаемой при расчетном определении категории по взрывопожарной и пожарной опасности.

ЛИТЕРАТУРА

Пожарная безопасность технологических процессов: Рабочая программа. - М: Академия ГПС МЧС России, 2003.

ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования.

, 3. ГОСТ Р 12.3.047-98 Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.

НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

СНиП 23.01-99 Строительная климатология.

ГОСТ 12.1.044-89 Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.

Пособие по применению НПБ 105-95 «Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности» при рассмотрении проектно-сметной документации. - М.: ВНИИПО МВД РФ, 1998.

Лекция 6

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЗАЖИГАНИЯ И ЗАЩИТА ОТ НИХ

Классификация производственных источников зажигания

Условием возникновения горения является одновременное присутствие в определенной точке пространства горючей среды и источника инициирования процесса горения, который называют *источником зажигания*.

Производственные источники зажигания классифицируют по продолжительности действия, природе образования, запасу тепловой энергии, месту возникновения и другим признакам.

По продолжительности действия источники зажигания подразделяются на постоянно действующие и потенциально возможные; по природе образования - на тепловое проявление химической энергии, тепловое проявление механической энергии, тепловое проявление электрической энергии и т. п.; по запасу тепловой энергии - на низкокалорийные и высококалорийные.

Статистика появления на производстве источников зажигания различной природы характеризуется следующими данными (в %):

-тепловое проявление химической энергии	63,4
-тепловое проявление механической энергии	13,6
-тепловое проявление электрической энергии	23,0
Итого: 100%	

Примечание. Источники зажигания электрического происхождения и способы защиты от них рассматриваются в курсе пожарной безопасности в электроустановках.

В зависимости от условий возникновения горения различают вынужденное воспламенение, самовозгорание и самовоспламенение горючей среды.

Вынужденное воспламенение горючей среды

Вынужденное воспламенение горючего вещества в среде окислителя происходит под действием внесенного извне источника тепла. Если такой источник тепла нагреет горючую среду до определенной температуры, то в ней начнется самоподдерживающаяся реакция окисления. Значительно легче воспламеняются горючие смеси, т. е. смеси горючих газов, паров и дисперсных материалов с воздухом в определенных количественных соотношениях, так как отсутствуют стадии прогрева веществ или материалов, выделения из них горючих газов и паров и их диффузии в воздух. В этом случае оказывается достаточным нагреть до определенной температуры около 0,5-1,0 мм³ горючей смеси, чтобы воспламенить ее.

Известно, что не всякий источник тепла способен воспламенить любую горючую среду и даже горючую смесь. Чтобы источник тепла (ИТ) стал источником вынужденного зажигания (ИЗ) конкретной горючей среды, необходимо выполнение трех условий:

1) температура источника тепла $t_{и.т}$ должна быть не ниже температуры самовоспламенения горючего вещества $t_{св}$;

2) энергия источника тепла $w_{и.т}$ должна быть не меньше минимальной энергии, необходимой для воспламенения горючей среды w_{min} ;;

3) длительность действия источника тепла $\tau_{и.т}$ должна быть не меньше периода индукции и $\tau_{инд}$.

Перечисленные условия появления источника зажигания в горючей среде можно представить в следующем виде:

$$\text{ИГ} (t_{и.т} \geq t_{св} \cap w_{и.т} \geq w_{мин} \cap \tau_{и.т} \geq \tau_{инд}) \iff \text{ИЗ}, \quad (6.1)$$

где Л - символ математической логики, означающий «и».

Опасность постоянно действующего источника тепловой энергии, для которого справедливо $\tau_{и.т} \rightarrow \infty$, оценивают с помощью двух параметров:

$$\text{ИГ} (t_{и.т} \geq t_{св} \cap w_{и.т} \geq w_{мин}) \iff \text{ИЗ}. \quad (6.2)$$

Для оценки опасности источника тепла, температура которого значительно превышает температуру самовоспламенения горючей среды (например, электрического разряда), используют один параметр:

$$\text{ИГ} (w_{и.т} \geq w_{мин}) \iff \text{ИЗ}. \quad (6.3)$$

Самовоспламенение и самовозгорание горючих веществ

Самовоспламенение происходит, когда горючее вещество:

-вступает в экзотермическое взаимодействие с воздухом при температуре окружающей среды ($t_{св} \leq t_{в}$, где $t_{в}$ - температура воздуха);

-вступает в экзотермическое взаимодействие с воздухом при повышенной температуре вещества ($t_{п} \geq t_{св}$ где $t_{п}$ - температура горючего вещества);

-вступает в экзотермическое взаимодействие с водой или с другими веществами;

-разлагается с выделением тепла при нагревании или механическом воздействии.

Самовозгорание - это возникновение горения вещества или материала, склонного к химическому, тепловому и микробиологическому самовозгоранию, при наличии начального теплового импульса и соблюдении условий, способствующих процессу самовозгорания (определенные масса и состояние вещества, температура окружающей среды, интенсивность теплообмена вещества с окружающей средой).

Для оценки опасности самовозгорания вещества или материала используют два параметра: температуру горючего вещества и продолжительность процесса, т. е.

$$\text{ИГ} (t_{в} \geq t_{с} \cap \tau_{п} \geq \tau_{с}) \iff \text{ИЗ}, \quad (6.4)$$

где (t_m - максимальная температура горючего вещества или материала (при проведении технологического процесса) или окружающей среды (при хранении или транспортировании); t_c - температура самовозгорания; T_p - длительность процесса (технологического, транспортирования, хранения и т. д.); t_c - период времени от начала процесса самонагрева до самовозгорания материала (индукционный период).

Идентификация вынужденного воспламенения и самовозгорания

Таблица 6.1

Вынужденное воспламенение	Самовозгорание
Начальное горение возникает только в месте непосредственного действия теплового импульса	Горение в массе горючего вещества начинается только там, где имеется наименьший отвод тепла в окружающую среду в течение всего периода самонагрева
Более высокие температуры создаются обычно на внешних границах материала с тенденцией распространения горения внутрь его массива	Более высокие температуры наблюдаются внутри массы материала в течение всего периода подготовки его к горению обычно при незначительном изменении внешнего вида материала (или отсутствии изменения)
Индукционный период исчисляется долями секунды, секундами или минутами	Индукционный период исчисляется часами, днями и даже месяцами

Характерные особенности вынужденного воспламенения и самовозгорания горючих веществ и материалов, позволяющие идентифицировать эти процессы, приведены в табл. 6.1.

Нормативные требования по предотвращению образования в горючей среде (или внесения в нее) источников зажигания

В ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования» изложены способы предотвращения образования в горючей среде (или внесения в нее) источников зажигания, а также методики определения пожароопасных параметров источников тепла (температура, энергия и длительность действия), таких, как:

- разряд атмосферного электричества;
- электрическая искра (дуга);
- механические искры (искры от удара и трения);
- открытое пламя и искры двигателей (печей);
- нагретые поверхности технологического оборудования и материалов;
- самонагревание веществ и материалов.

Приведенные в стандарте сведения не носят, к сожалению, системного характера: в одном случае приводятся экспериментальные данные, в другом - полуэмпирические выражения, в третьем - математические выражения, описывающие физические явления.

Методы экспериментального определения показателей пожаро- и взрывоопасности веществ и материалов (в частности, температуры само-

воспламенения, минимальной энергии зажигания, способности взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и другими веществами, температуры самонагрева и температурных условий теплового самовозгорания) приводятся в ГОСТ 12.1.044-89 «Пожаровзрыво-опасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы определения».

Энергетический (тепловой) источник не станет источником вынужденного зажигания горючей среды при выполнении одного из условий:

$$t_{н.т}^{без} \leq 0,8 t_{сн} \text{ или } w_{н.т}^{без} \leq 0,4 w_{min}, \quad (6.5)$$

где $t_{и.т}^{без}$ - безопасная температура источника тепла; $w_{и.т}^{без}$ - безопасная энергия источника тепла.

Самовозгорание веществ и материалов, склонных к тепловому самовозгоранию, не происходит при выполнении одного из условий:

$$t_{м}^{без} \leq 0,7 t_{с} \text{ или } \tau_p^{без} \leq \tau_c / K_{\delta}, \quad (6.6)$$

Где $t_{м}^{без}$ - безопасная температура горючего вещества или материала (при проведении технологического процесса) или окружающей среды (при хранении или транспортировании); $\tau_p^{без}$ - безопасная длительность процесса (технологического, хранения, транспортирования и т. д.); $K_{\delta} > 1$ - коэффициент безопасности.

Тепловое проявление химической энергии

Пожарная опасность процессов сжигания топлива и способы обеспечения пожарной безопасности

Во многих технологических процессах, где необходимо получить высокую температуру, широко применяется тепловая энергия, получаемая при сжигании топлива в аппаратах огневого действия (печи, топки, теплогенераторы, котлы, реакторы). Энергия сгорания топлива также используется в двигателях для получения механической энергии. Помимо этого, топливо сжигают при проведении огневых ремонтных работ (в горелках, паяльных лампах) и при утилизации горючих отходов производства на факельных установках. Сжигание топлива сопровождается появлением таких источников зажигания, как открытый огонь, высоконагретые продукты сгорания, раскаленные поверхности оборудования, искры.

Открытый огонь, высоконагретые продукты сгорания, раскаленные поверхности оборудования

Температура пламени и продуктов сгорания в аппаратах огневого действия в зависимости от вида сжигаемого топлива достигает 1000-1300 °С, а при проведении огневых ремонтных работ - 3000-3300 °С и выше. Температура раскаленных поверхностей оборудования достигает 800-900 °С. Температура же самовоспламенения большинства горючих газов и паров находится в диапазоне 100-700 °С.

Энергия указанных источников тепла значительно (на несколько порядков) превышает минимальную энергию зажигания любых горючих смесей, которая лежит в пределах 0,01-1,5 мДж.

Длительность существования перечисленных источников тепла характеризуется продолжительностью проведения огневых работ или периодом эксплуатации оборудования с раскаленными поверхностями и достигает определенное количество:

- минут - при проведении огневых работ;
- часов - при работе двигателей;
- месяцев - при работе аппаратов огневого действия.

Периоды индукции при воспламенении горючих смесей составляют 0,05-0,5 с, а при воспламенении горючих жидкостей и твердых материалов - достигают десятков секунд или минут, что значительно меньше длительности существования рассмотренных источников тепла.

Таким образом, согласно выражению (6.1), открытый огонь, высоконагретые продукты сгорания, раскаленные поверхности оборудования являются источниками зажигания любых горючих смесей, веществ и материалов. Выход горючих веществ из аппаратов, смежных с аппаратами огневого действия, двигателями внутреннего сгорания и тому подобными устройствами для сжигания топлива, и их контакт с пламенем, высоконагретыми продуктами сгорания или раскаленными поверхностями оборудования приводит к их воспламенению.

Искры, образующиеся при работе топок, двигателей и факельных установок

К оборудованию, в котором могут образоваться искры, относятся аппараты огневого действия (трубчатые печи, огневые нагреватели, паровые и водяные котлы, огневые реакторы), двигатели внутреннего сгорания (тепловозы, автотракторная техника, силовые агрегаты), а также установки для сжигания сбросов с технологических аппаратов (факельные выбросы). Искры представляют собой тлеющие частицы несгоревшего топлива или сажевых отложений.

В качестве информации следует отметить, что при сгорании 100 кг дизельного топлива в ДВС образуется до 150 г нагара, отложения которого в выхлопных системах достигают 10 мм и более. При вибрации и тряске двигателей достаточно крупные нагретые частицы нагара отслаиваются от труб, вылетают наружу и при соприкосновении с воздухом самовозгораются. Экспериментально установлено, что искры, пожароопасны при диаметре 2 мм и температуре 1000 °С, при диаметре 3 мм и температуре 800 °С, при диаметре 5 мм и температуре 600 °С. Продолжительность охлаждения искр диаметром 3,3 мм в воздухе до температуры около 200 °С составляет примерно 5 с.

Дальность полета искр от места их образования (или выхода из устья дымовой или выхлопной трубы, из трещины в дымовом канале) зависит от скорости движения воздуха. Например, при скорости ветра 20 м/с скорость

полета искры будет равна $20 \cdot 0,6 = 12$ м/с (здесь 0,6 - поправочный коэффициент, обычно принимаемый равным 0,5-0,7), а дальность полета при охлаждении до безопасной температуры составит 60 м. Тление (свечение) искр после их оседания даже на влажные твердые поверхности продолжается 3-5 с.

Несмотря на относительно небольшой запас тепловой энергии, искры способны воспламенять горючие смеси, аэрогели, волокнистые материалы. Отмечаются случаи воспламенения твердых материалов (например, бревен, досок, торфяных брикетов) вследствие попадания искр в щели между элементами конструкций или брикетами.

Способы обеспечения пожарной безопасности

Аппараты огневого действия

Для обеспечения пожарной безопасности аппаратов огневого действия применяют следующие основные способы и технические решения или их комбинацию:

1. Размещают аппарат огневого действия изолированно от оборудования с горючими веществами в отдельном помещении.

2. Размещают аппарат огневого действия на безопасном расстоянии от оборудования с горючими веществами или мест хранения горючих веществ.

В соответствии с «Нормами проектирования предприятий, зданий и сооружений нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности (ВУПП-88)» минимальные расстояния от аппаратов огневого действия до технологического оборудования с горючими продуктами составляют 10-20 м (в зависимости от величины рабочего давления в них), а до зданий и помещений - 8 м (при глухой стене) и 15 м (при наличии оконных или дверных проемов).

3. Устраивают экран или размещают здание между аппаратом огневого действия и оборудованием с горючими веществами или местами хранения горючих веществ и материалов.

4. Устраняют причины искрообразования путем регулирования процесса сжигания топлива и использования рекомендованных эксплуатационной документацией видов топлива.

5. Устраивают искроулавливатели и искрогасители.

Искроулавливатели и искрогасители представляют собой устройства, устанавливаемые в дымовых каналах аппаратов огневого действия или на выхлопных коллекторах двигателей внутреннего сгорания и обеспечивающие улавливание искр из продуктов горения и/или их тушение. По способу улавливания и тушения искр искроулавливатели и искрогасители подразделяются на:

-фильтрационные (дымовые и выхлопные газы очищаются от искр путем фильтрации через пористые перегородки, набивные или насыпные материалы);

-динамические (дымовые и выхлопные газы очищаются от искр под действием сил тяжести или инерции).

Кроме того, искроулавливатели и искрогасители могут быть сухими и мокрыми.

Сухие искроулавливатели (искрогасители) фильтрационного типа напоминают по устройству аналогичные фильтры, используемые для очистки газов от пыли (см. § 4.3 учебного пособия «Основы технологии, процессов и аппаратов пожаровзрывоопасных производств»). Достоинство искроулавливателей фильтрационного типа - высокая надежность улавливания искр из продуктов горения. Основные недостатки: большое гидравлическое сопротивление, забивание искроулавливающих элементов твердыми частицами (при использовании в качестве искроулавливающих элементов металлических сеток наблюдается их быстрое прогорание).

Сухие искроулавливатели (искрогасители) динамического типа устроены и работают так же, как пылеосадительные камеры, инерционные камеры или циклоны (см. § 4.2, там же). В инерционных камерах и циклонах искры не только улавливаются, но и при ударах о стенки или перегородки дробятся, истираются и теряют скорость, что способствует их догоранию, охлаждению и оседанию на дно камер. Искроулавливатели динамического типа имеют меньшую по сравнению с устройствами фильтрационного типа надежность улавливания и тушения искр, но в то же время и меньшее гидравлическое сопротивление.

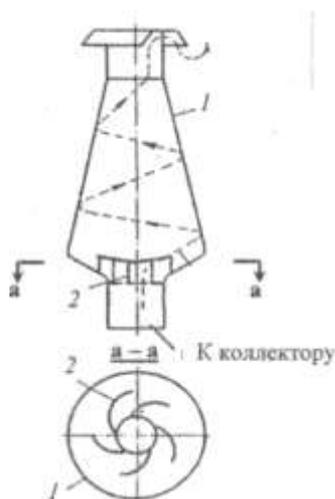


Рис. 6.1. Турбинно-вихревой искрогаситель



Рис. 6.2. Схема искрогасителя с орошаемой насадкой

Схема турбинно-вихревого искрогасителя, обычно используемого на вертикальных выхлопных коллекторах двигателей сельскохозяйственной техники, показана на рис. 6.1. Проходя через зазор между лопастями 2 «турбинки», неподвижно закрепленной в корпусе искрогасителя 1, выхлопные газы приобретают вращательное движение. Искры отбрасываются к корпусу, истираются на нем, быстро догорают, охлаждаются и с безопасной температурой сбрасываются в атмосферу.

Высокую надежность улавливания и тушения искр имеют *мокрые искроулавливатели* и *искрогасители*. На рис. 6.2 показана схема искро-

улавливателя с орошаемой насадкой, который представляет собой аппарат с цилиндрическим корпусом 2, заполненным насадкой 3 (кольцами, шариками, осколками гранита, кварца и т. п.), лежащей на опорной решетке 4. Продукты сгорания поступают в искроулавливатель снизу по линии I, проходят через слой насадки и сбрасываются в атмосферу по линии II. Насадка с помощью распределительного устройства 1 равномерно орошается водой. Шлам отводится через патрубок, расположенный в нижней части искроулавливателя.

7. Контролируют исправность кладки дымовых каналов и своевременно ее ремонтируют.

8. Контролируют и автоматически регулируют температуру топочных газов, вступающих по условиям технологии в контакт с горючей средой, до значения не выше $0,8 t_{св}$ горючих веществ или материалов.

Предусматривают аварийную остановку аппарата огневого действия с одновременной подачей водяного пара или инертного газа в топку.

9. Устраивают у аппарата огневого действия непрерывную отражающую или локальную паровую завесу.

10. Теплоизолируют нагретые поверхности оборудования, имеющие температуру выше $0,8 t_{св}$ в местах возможного контакта с горючей средой, контролируют ее состояние и своевременно ремонтируют.

11. Отводят топочные газы на безопасное расстояние от оборудования с горючими веществами или мест хранения горючих веществ и материалов.

12. Охлаждают топочные газы, сбрасываемые вблизи от мест возможного образования горючей среды, до температуры ниже $0,8 t_{св}$.

Двигатели внутреннего сгорания

Пожарную безопасность при эксплуатации двигателей внутреннего сгорания обеспечивают следующими основными способами и техническими решениями или их комбинацией:

1. Устраняют причины искрообразования путем регулирования двигателей и использования рекомендованных эксплуатационной документацией видов топлива.

2. Устраивают искроулавливатели и искрогасители.

3. Контролируют исправность выхлопных трактов и их своевременно ремонтируют.

4. Соблюдают сроки очистки выхлопных трактов.

5. Устраивают теплоизоляцию нагретых поверхностей оборудования, имеющих температуру выше $0,8 t_{св}$ в местах возможного контакта с горючей средой, контролируют ее состояние и своевременно ремонтируют.

6. Отводят выхлопные газы на безопасное расстояние от оборудования с горючими веществами или от мест хранения горючих веществ и материалов.

7. Охлаждают выхлопные газы, сбрасываемые вблизи от мест возможного образования горючей среды, до температуры ниже $0,8 t_{св}$.

Факельные установки

Пожарную опасность факельных установок необходимо рассматривать с двух сторон:

- как причину образования зоны ВОК при затухании факела;
- как источник открытого огня и искр.

В связи с этим пожарную безопасность факельных установок обеспечивают следующими основными способами и техническими решениями или их комбинацией:

1. Размещают факельную установку на безопасном расстоянии от оборудования с горючими веществами или от мест хранения горючих веществ.

Например, согласно ВУПП-88, на предприятиях нефтепереработки и нефтехимии минимальные расстояния от факельных установок до сырьевых и товарных складов (парков) ЛВЖ и ГЖ составляют 100 м, до технологических установок категорий A_n или B_n , а также до зданий (цехов) категорий А или Б - 100 м, до технологических установок категорий B_n , Γ_n или D_n , а также до зданий (цехов) категорий В, Г или Д - 50 м и т. д.

2. Устраивают достаточную по условиям взрывопожарной безопасности и по расчетам высоту ствола факела (35 м и более).

3. Ограждают территорию вокруг ствола факела.

4. Применяют горелки, обеспечивающие полное сгорание газов в факелах.

5. Устраивают сепаратор для отделения жидкой фазы от газа.

6. Устанавливают огнепреградитель на подводящей линии.

7. Устраивают дежурную горелку.

Огневые ремонтные работы (рассмотрены в гл. 10).

Пожарная опасность процессов самовоспламенения и самовозгорания веществ и материалов и способы обеспечения пожарной безопасности

В условиях производства, транспортировки и хранения часто происходят пожары вследствие самовоспламенения и самовозгорания горючих веществ и материалов при их контакте с воздухом, водой или друг с другом в следующих случаях:

1. Горючее вещество, находящееся в технологическом оборудовании, нагрето до температуры, превышающей температуру самовоспламенения:

$$t_p \geq t_{св}$$

где t_p - рабочая (действительная) температура и $t_{св}$ - температура самовоспламенения горючего вещества.

Например, для получения этилена пары углеводородов подвергают пиролизу в трубчатой печи при температуре 850 °С, а образующийся пиролизный газ имеет температуру самовоспламенения 530-550 °С; при разгонке мазута температура в нижней части вакуумной ректификационной колонны достигает 360-380 °С, а температура самовоспламенения мазута и продуктов

его перегонки составляет 250 °С. Контакт нагретых продуктов с воздухом приводит к их самовоспламенению и возникновению пламенного горения.

2. Горючее вещество, находящееся в технологическом оборудовании, имеет температуру самовоспламенения ниже температуры окружающей среды:

$$t_{\text{сп}} \geq t_{\text{св}},$$

где $t_{\text{сп}}$ - температура окружающей среды.

Например, в процессе производства полиэтилена НД (низкого давления) используют металлоорганические катализаторы триэтилалюминий $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{Al}$ или диэтилалюминийхлорид $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{AlCl}$, которые имеют температуры самовоспламенения -68 °С и -60 °С соответственно. Контакт этих веществ с воздухом приводит к их самовоспламенению и возникновению пламенного горения.

3. Пожароопасное вещество при контакте с водой, кислородом воздуха или с другими веществами взрывается, воспламеняется или вызывает горение.

Например:

- при взаимодействии карбида кальция с водой, протекающем по реакции



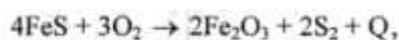
температура кусков карбида достигает 1000 °С, что вызывает возгорание выделяющегося ацетилена, так как его температура самовоспламенения составляет 335 °С (при взаимодействии с водой щелочных металлов выделяется и возгорается водород, а сам металл расплавляется, разбрызгивается и возгорается; упомянутые выше металлоорганические катализаторы при контакте с водой взрываются);

- при взаимодействии извести с водой, протекающем по реакции



температура кусков извести достигает 600 С, что вызывает возгорание тары, в которой она находится: крафт-мешков, досок и других горючих материалов;

- гидросульфид натрия, сернистый натрий, сульфид железа и тому подобные пирофорные вещества во влажном состоянии интенсивно окисляются на воздухе с выделением тепла и серы, которая при этом может возгораться. В процессе окисления сульфида железа кислородом воздуха, протекающем по реакции



температура образующихся продуктов превышает температуру самовоспламенения выделяющейся серы ($t_{\text{св}} = 220$ °С), что приводит к ее возгоранию и дальнейшему повышению температуры до 600-700 °С;

- при взаимодействии горючих веществ с окислителями (хлор, бром, фтор, окислы азота, азотная кислота, перекись натрия, барий и водород, хромовый ангидрид, двуокись свинца, хлорная известь, жидкий кислород, селитры, хлораты, перхлораты, перманганаты и другие химические соединения) происходит их взрыв, воспламенение или образование веществ и смесей, разлагающихся со взрывом от незначительного механического или теплового воздействия.

4. Пожароопасное вещество воспламеняется либо разлагается со взрывом при нагревании или механическом воздействии (ударе, трении).

Например, взрывное разложение треххлористого азота (экзотермического соединения) происходит по реакции



и сопровождается выделением большого количества тепла, способного вызвать воспламенение горючих веществ (со взрывом могут разлагаться также ацетилен, диацетилен, перекись водорода, бутиндиол и некоторые другие вещества).

Благоприятные условия, способствующие самовозгоранию веществ и материалов, складываются при их перевозке и хранении. Вот некоторые примеры. При железнодорожной перевозке гидросульфита натрия в металлических барабанах из-за плохого крепления произошло разрушение верхнего яруса, раскрытие барабанов и рассыпание продукта в вагоне. Попадание воды на материал через проржавевшую кровлю вагона интенсифицировало процесс окисления, что способствовало развитию высоких температур и привело к загоранию горючих материалов и мусора в вагоне.

Нередки случаи возгорания горючих материалов при железнодорожных перевозках хлорной извести (они также связаны с разгерметизацией тары, увлажнением извести, наличием горючего мусора и загрузкой извести в вагоны в недостаточно охлажденном виде).

Перевозка несовместимых веществ часто приводит к пожарам при их взаимодействии друг с другом. Например, при перевозке контейнера с медикаментами произошло его возгорание вследствие разрушения бутылей с дегтем и его взаимодействием с натриевой солью дихлоризоциануровой кислоты, находящейся в мешках.

Известны случаи пожаров при перевозке крепкой азотной кислоты в стеклянных бутылках, которые происходят при разрушении бутылей из-за тряски и сильных соударений вагонов и самовоспламенении древесной стружки (древесной стружкой заполняют промежутки между бутылками и деревянной обрешеткой, в которой они установлены).

5. Горючее вещество или материал, склонный к химическому, тепловому и микробиологическому самовозгоранию, при контакте с воздухом самовозгораются.

Самонагревание таких веществ или материалов вплоть до возникновения пламенного горения происходит в том случае, если они нагреты до

определенной температуры и отсутствует (или затруднен) теплообмен с окружающей средой.

В случае химического самовозгорания тепловой импульс возникает при окислении вещества на воздухе или при взаимодействии с определенным реагентом. По такому механизму самовозгораются порошки металлов (цинк, алюминий, титан, магний и др.), олифа, скипидар, животные жиры и растительные масла и тому подобные вещества.

В случае теплового самовозгорания импульсом служит непосредственный нагрев вещества до критической температуры (температуры самовозгорания при которой в веществе начинаются самоускоряющиеся реакции окисления, приводящие к тлению или пламенному горению. По такой схеме самовозгораются: травяная мука, локоткани, гранитоль, пенополиуретан и другие материалы, недостаточно охлажденные перед складированием. Температура самонагрева вещества значительно ниже его температуры самовоспламенения.

В случае микробиологического самовозгорания импульсом служит тепловая энергия, выделяющаяся в результате жизнедеятельности термофильных микроорганизмов, использующих горючее вещество в качестве питательной среды. Самонагревание торфа, сена, силоса и других подобных материалов начинается с жизнедеятельности термофильных микроорганизмов и часто завершается пламенным горением.

В некоторых случаях импульсом служит тепло, выделяющееся при адсорбции паров и газов из воздуха твердым веществом (например, при самовозгорании древесного угля, сажи, отработанных катализаторов, скелетных и порошкообразных металлов: никеля, железа, алюминия, цинка, титана и др.).

Параметры процесса теплового самовозгорания горючего вещества или материала можно оценить, решив систему уравнений:

$$\begin{cases} \lg t_{cp} = A_p + n_p \lg S; \\ \lg \tau_c = \frac{1}{n_s} (A_s - \lg t_{cp}), \end{cases} \quad (6.7)$$

где t_{cp} - минимальная температура среды, при которой происходит тепловое самовозгорание; τ_c - период времени от начала процесса самонагрева до самовозгорания материала (индукционный период); A_p , n_p , A_s и n_s - опытные коэффициенты; $S = F/V$ - удельная поверхность материала, m^{-1} ; F - поверхность материала, участвующая в теплообмене с окружающей средой, m^2 ; V - объем материала, m^3 .

Например, достаточно широко известны случаи самовозгорания хлопка при железнодорожной перевозке (отмечены также случаи загорания кип хлопка из-за трения упаковочной проволоки о стенки вагона или между собой).

Опытные значения констант уравнения Антуана для хлопка следующие: $A_p = 2,018$, $n_p = 0,14$, $A_s = 2,332$ и $n_s = 0,057$. Кипа хлопка имеет размеры $0,8 \times 0,6 \times 0,6$ м.

Объем кипы $V = 0,8 \cdot 0,6 \cdot 0,6 = 0,288$ m^3 . Боковые поверхности кипы, участвующие в теплообмене, $F = 0,8 \cdot 0,6 + 2 \cdot 0,8 \cdot 0,6 + 2 \cdot 0,6 \cdot 0,6 = 2,16$ m^2 . Удельная поверхность кипы $S = 2,16/0,288 = 7,5$ m^{-1} .

Минимальная температура окружающей среды, при которой происходит самовозгорание кипы,

$$\lg t_{\text{сп}} = 2,018 + 0,14 \lg 7,5 = 2,14; \quad t_{\text{сп}} = 138,2 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Индукционный период:

$$\lg \tau_c = (2,332 - \lg 138,2)/0,057 = 3,36; \quad \tau_c = 2288,2 \text{ ч (95,3 сут)}.$$

Самовозгоранию хлопка способствуют: перегрев воздуха в вагонах на солнце, повышенная влажность хлопка и его загрязнение различными примесями, в первую очередь хлопковым маслом.

Особенностью теплового самонагрева является то обстоятельство, что безопасные при обычной температуре 20-25 °С материалы могут самовозгораться при хранении в нагретом состоянии, например, вследствие недостаточно глубокого охлаждения после производственного процесса.

Для предотвращения самовоспламенения и/или самовозгорания горючей среды используют следующие способы и технические решения или их комбинацию:

1. Исключают контакт горючих веществ, нагретых до температуры самовоспламенения и выше, а также веществ, имеющих температуру самовоспламенения ниже температуры окружающей среды, с воздухом.

2. Контролируют температуру и продолжительность хранения веществ и материалов, склонных к тепловому, химическому и/или микробиологическому самовозгоранию.

3. Снижают температуру веществ и материалов, склонных к тепловому, химическому и/или микробиологическому самовозгоранию, до безопасного значения ($t_m^{\text{без}} \leq 0,7t_c$).

4. Исключают контакт с водой веществ и материалов, реагирующих с выделением тепла, взрывом или самовозгоранием.

5. Исключают контакт друг с другом веществ и материалов, реагирующих с выделением тепла, взрывом или самовозгоранием.

6. Предотвращают образование пирофорных соединений и отложений в производственном оборудовании.

7. Очищают оборудование, помещения и территорию наружных установок от пирофорных веществ и материалов.

8. Смачивают стенки и днища аппаратов, на которых возможно образование пирофорных отложений, водой перед вскрытием на осмотр или ремонт, а также постоянно смачивают отложения в процессе их удаления.

9. Удаляют пирофорные отложения, загрязненную маслами ветошь, замазученный грунт и тому подобные материалы с территории производственных объектов в специально отведенные места.

10. Очищают корпуса подшипников, электродвигателей и других устройств, нагреваемых при работе, от масел, отложений пуха, пыли и других материалов, склонных к самовозгоранию.

11. Очищают нагнетательные линии воздушных компрессоров от нагаромасляных отложений.

12. Предотвращают контакт ацетилен с медью и ее сплавами.

13. Предотвращают температурные или механические воздействия на нестойкие химические соединения.

Тепловое проявление механической энергии

Пожарная опасность искр удара и трения и способы обеспечения пожарной безопасности

При соударении или трении твердых тел одно о другое от них отрываются частицы, которые нагреваются вследствие превращения части кинетической энергии в тепловую и протекания экзотермической реакции окисления. Такие частицы по способу возникновения называются *искрами удара и трения*, или *фрикционными искрами*. Они относятся к низкокалорийным источникам тепла и могут служить потенциально возможными источниками зажигания газо-, паро- и пылевоздушных смесей, а также могут вызывать появление очагов тления при попадании на отложения пыли или волокон.

Экспериментально установлено, что максимальная температура фрикционных искр ограничена температурой плавления более легкоплавкого материала трущейся или соударяющейся пары (при условии, что эти материалы не способны взаимодействовать друг с другом с экзотермическим эффектом).

Почти все металлы (за исключением благородных) взаимодействуют с кислородом воздуха, причем скорость их окисления растет с ростом температуры. При определенной температуре, когда количество тепла, полученного частицей в момент удара и выделившегося вследствие окисления, превысит количество тепла, отводимого в окружающую среду, самоускорение реакции окисления приведет к самовоспламенению металлической частицы. Температура самовоспламенения частичек стали, например, тем ниже, чем меньше их размеры. Таким образом:

-углеродистые стали, образующие при ударе или трении мелкодисперсные частицы, более склонны к искрообразованию;

-размеры окисленных частиц обычно не превышают 0,5 мм;

-крупные стальные частицы (с размером более 0,5 мм) способны «взрываться», т. е. распадаться на большое количество мелких частиц, температура которых превышает температуру исходной частицы (способностью «взрываться» обладают также частицы титана);

-при соударении или трении со сталью металлов, имеющих более низкую температуру плавления, искрообразование затрудняется.

Параметры фрикционных искр, образующихся при соударении конструкционных сталей (обыкновенного качества или качественных) можно оценить расчетом. Температура искр достигает температуры плавления сталей, т. е. примерно 1550 °С. Количество отдаваемого тепла искрой u_k при ее

охлаждении от начальной температуры $t_n = 1550$ °С до конечной температуры, равной температуре самовоспламенения горючей среды t_{CB} , можно оценить по формуле

$$q_n (w_n) = V_n \rho_n c_{ин} (t_n - t_{CB}), \quad (6.8)$$

где $V_n = \frac{4\pi}{3} \left(\frac{d_n}{2}\right)^3 = \frac{4 \cdot 3,14}{3} \left(\frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{2}\right)^3 = 6,543 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3$ – объем искры

(диаметр искры d_n принят, согласно экспериментальным данным, равным $0,5 \cdot 10^{-3}$ м); $\rho_n = 7900$ кг/м³ – плотность стали; $c_{ин} = 0,6$ кДж/(кг*К) – средняя удельная теплоемкость стали.

При 100 °С $\leq t_{CB} \leq 700$ °С (данный диапазон температур самовоспламенения охватывает практически любые горючие газы и пары) значения величин q_n составляют всего $0,26$ - $0,45$ Дж.

Длительность существования искр, найденная из условий нестационарного теплообмена, исчисляется долями секунды (не превышает $0,45$ с).

Сопоставление расчетных параметров искр с показателями пожаро-взрывоопасности горючих веществ и материалов показывает, что фрикционные искры способны воспламенять не все горючие смеси. Определить воспламеняющую способность искр, образующихся в различных средах при соударениях твердых тел, можно лишь экспериментально. При этом установлено следующее:

- с увеличением энергии соударения воспламеняющая способность фрикционных искр возрастает, большую опасность представляет удар скользящий, чем прямой;

- минимальная температура искры, необходимая для воспламенения, должна быть тем выше, чем меньше ее размеры;

- концентрационные пределы распространения пламени горючих веществ при их зажигании фрикционными искрами уже, чем при зажигании тех же веществ электрическими искрами;

- бедные горючие смеси зажигаются искрами удара легче, чем богатые;

- при многократных соударениях твердых тел (например, лопастей вентилятора о корпус) горючие смеси могут зажигаться не только искрами, но и нагретыми при трении поверхностями, но при значительно более высоких температурах, чем их температуры самовоспламенения;

- трение цветных металлов (медь, латунь, бронза и др.) также приводит к нагреву поверхностей и воспламенению горючих смесей;

- трение пластмасс на основе терморезистивных смол друг с другом или металлами приводит к образованию искр (отколовшихся горящих частичек пластмасс), приводящих к зажиганию горючих смесей;

- соударение алюминия, магния и их сплавов о ржавую стальную поверхность приводит к образованию частиц термита – смесей, состоящих из алюминия (магния) и окиси железа (например, $2\text{Al} + \text{Fe}_2\text{O}_3$), сгорающих при температуре около 3500 °С;

-при ударах и трении углеродистых сталей о марганцевые стали температура образующихся искр возрастает, а о легированные кремнием, хромом и молибденом стали - падает;

-большую опасность представляют искры, образующиеся при ударах и трении титана и его сплавов;

-искры, образующиеся при трении стальных деталей о корундовые и шлифовальные круги, имеют температуру выше 3000 °С и зажигают аэрозоли титана, циркония, магнезия, алюминия, цинка, серы, но большинство органических аэрозолей не воспламеняют.

В условиях производства фрикционные искры образуются в основном в следующих случаях:

-при попадании в оборудование вместе с перерабатываемыми веществами и материалами инородных примесей, способных образовывать искры удара и трения (камней, кусков металла и пр.);

-при ударах подвижных частей машин о неподвижные части;

-при выполнении ремонтных работ, в том числе с использованием инструмента ударного действия.

Для предотвращения образования искр удара и трения при попадании в оборудование вместе с перерабатываемыми веществами и материалами инородных примесей применяют следующие основные способы и технические решения или их комбинации:

1. Очищают обрабатываемые или перерабатываемые вещества и материалы от инородных примесей путем их просеивания или с помощью гравитационных, инерционных или магнитных улавливателей.

Грохоты, сепараторы и улавливатели устанавливаются в начале технологических линий, перед подачей продуктов в машины на обработку или переработку. Они в большинстве случаев защищают машины и от механических повреждений, вследствие которых также могут образоваться искры удара и трения.

Особенно трудно очищать волокнистые материалы, так как твердые примеси запутываются в волокнах. На рис. 6.3 приведена схема устройства для очистки хлопка-сырца от камней и других твердых примесей перед подачей его по системе пневмотранспорта в машины. В системе пневмотранспорта есть участок, который имеет плавный изгиб радиусом R . На выходе из изогнутого участка монтируется бункер 2. Участок трубопровода до бункера и сам бункер изготовляют из искробезопасного материала или футеруют изнутри резиной. Попавшие в систему пневмотранспорта камни в изогнутом участке трубопровода под действием центробежной силы отбрасываются к его стенке и движутся вдоль нее до того места, где изгиб трубопровода меняется (точка а). В этом месте камни отрываются от стенки и, продолжая под действием силы инерции прямолинейное движение, попадают в бункер, в котором имеются резиновые отбойники 3. При ударах об эластичные перегородки камни теряют скорость и падают на дно бункера. Хлопок как малоинерционная среда с потоком воздуха выносится из изогнутого участка трубопровода и направляется на дальнейшую переработку.

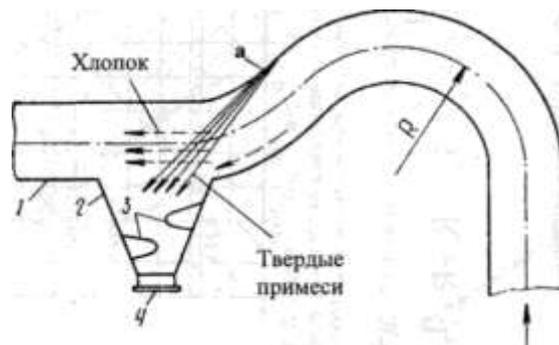


Рис. 6.3. Схема инерционного камнеулавливателя: 1 - трубопровод; 2 - бункер; 3 - отбойники; 4 - разгрузочный люк

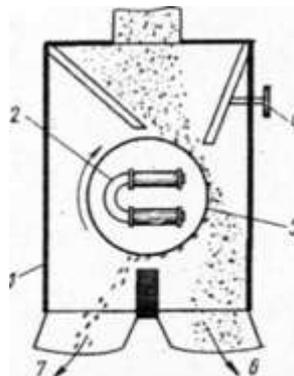


Рис. 6.4. Схема электромагнитного сепаратора

Для улавливания примесей металла из зерна в мукомольном производстве и на комбикормовых заводах применяют магнитные сепараторы. Схема электромагнитного сепаратора с вращающимся барабаном показана на рис. 6.4. В корпусе 1 сепаратора имеется вращающийся барабан 5, изготовленный из диамагнитного материала, внутри которого расположен неподвижно прикрепленный к корпусу электромагнит 2, полюса которого ориентированы таким образом, как показано на рисунке. С помощью винта 4 можно изменять зазор между шибером и барабаном, т. е. регулировать расход зерна. Зерно, поступающее в сепаратор по трубопроводу 3, проходит через зазор между шибером и барабаном, сыпается вниз и через патрубок 6 выводится из сепаратора. Находящиеся в зерне стальные примеси под действием электромагнитного поля притягиваются к стенке барабана, перемещаются вместе с ним в зону, где действие поля ослабевает, отрываются от барабана и сыпаются в патрубок 7 для отвода уловленных примесей.

2. Применяют искробезопасные конструкционные материалы для изготовления оборудования.

3. Защищают рабочие поверхности оборудования искробезопасными футеровками.

4. Очищают оборудование и помещения от отложений пыли и волокон.

5. Для предотвращения образования в горючей среде искр удара и трения при ударах подвижных частей машин о неподвижные части применяют следующие основные способы и технические решения или их комбинации.

6. Применяют искробезопасные конструкционные материалы для изготовления оборудования или отдельных узлов, при работе которых могут образоваться искры удара и трения (например, лопастей или корпусов вентиляторов, мешалок смесителей и тому подобного оборудования).

7. Защищают рабочие поверхности оборудования искробезопасными футеровками.

8. Производят статическую и динамическую балансировку движущихся частей оборудования (в неподвижном состоянии и на холостом ходу).

9. Контролируют вибрацию, сотрясения и удары в процессе эксплуатации оборудования и производят его остановку для устранения появившихся неполадок.

10. Используют искробезопасные материалы для изготовления пола и обслуживаемых площадок в производственных помещениях, в которых обращаются водород, ацетилен, этилен, окись углерода, сероуглерод, нитроклетчатка и подобные им легковоспламеняющиеся или нестойкие вещества.

11. Увлажняют полы в помещениях, в которых обращается нитроклетчатка и подобные ей легковоспламеняющиеся вещества.

12. Используют искробезопасные материалы для изготовления колес и бамперов внутрицехового транспорта.

13. Очищают оборудование и помещения от отложений пыли и волокон.

Для предотвращения образования в горючей среде источников зажигания при выполнении ремонтных работ (в том числе с использованием инструмента ударного действия) применяют следующие основные способы и технические решения или их комбинации:

1. Используют во взрывопожароопасных производствах и в зонах возможного образования горючих смесей искробезопасный слесарный инструмент, имеющий сертификат безопасности для работ в конкретных взрывоопасных средах.

Примечание. Омедненный, луженый, оцинкованный и тому подобный инструмент не может считаться искробезопасным, так как тонкое защитное покрытие быстро истирается; обильная смазка инструмента тавотом или густым мыльным раствором для предотвращения образования искр ничем не обоснована; кроме того, возрастает опасность выскальзывания инструмента из рук.

2. Проводят аварийные работы в специальных укрытиях, с гарантированным подпором чистого воздуха.

3. Устраивают воздушный душ в месте проведения аварийных работ.

4. Устраивают защитные экраны.

5. Используют охлаждающие жидкости для отвода тепла из зоны резания (от режущего инструмента и материала оборудования).

Пожарная опасность узлов трения машин и способы обеспечения пожарной безопасности

При работе машин и механизмов узлы, в которых движущиеся части сопрягаются с неподвижными, нагреваются вследствие трения. Количество выделяющегося при трении тепла $dQ_{тр}$ определяют по формуле

$$dQ_{тр} = F_{тр} dl, \quad (6.9)$$

где $F_{тр}$ - сила трения; dl - элементарное относительное перемещение трущихся пар.

Величину сил трения в трущихся парах можно оценить по формулам:

-при скольжении пар

$$F_{тр} = fN; \quad (6.10)$$

-при качении пар

$$F_{тр} = k \frac{N}{r}, \quad (6.11)$$

где f - безразмерный коэффициент трения скольжения, зависящий от свойств материала трущихся пар, качества их обработки, наличия между ними смазки, скорости скольжения и других факторов; N - сила нормального давления между трущимися парами; k - коэффициент трения качения, имеющий размерность длины и зависящий от свойств материала трущихся пар, состояния их поверхностей и многих других факторов; r - радиус катящегося тела

Выделяющееся за элементарный промежуток времени $d\tau$ в трущейся паре тепло расходуется на нагревание узла трения $dQ_{нагр}$ отводится системой охлаждения $dQ_{охл}$ и теряется в окружающую среду $dQ_{пот}$. Таким образом, уравнение теплового баланса узла трения в общем случае имеет вид:

$$dQ_{тр} = dQ_{нагр} + dQ_{охл} + dQ_{пот}. \quad (6.12)$$

Величину $dQ_{тр}$ при равномерном вращательном движении можно найти из выражения:

$$dQ_{тр} = fN \frac{d}{2} \omega dt = fN \frac{d}{2} \frac{\pi n}{30} dt, \quad (6.13)$$

где d - диаметр вращающейся детали (шейки подшипника, барабана транспортера и т. д.); ω - угловая скорость; n - частота вращения, мин⁻¹.

Приняв $a = f N \frac{d}{2} \frac{\pi n}{30} d\tau$, имеем

$$dQ_{\text{тр}} = a d\tau. \quad (6.14)$$

Величина $dQ_{\text{нагр}}$ зависит от массы нагреваемых деталей m , средней удельной теплоемкости металла c , и продолжительности нагрева $d\tau$:

$$dQ_{\text{нагр}} = m c_i d\tau. \quad (6.15)$$

Количество отводимого тепла системой охлаждения примем равным нулю, что будет соответствовать наиболее неблагоприятному случаю:

$$dQ_{\text{охл}} = 0. \quad (6.16)$$

Для определения потерь тепла в окружающую среду воспользуемся выражением

$$dQ_{\text{пот}} = \alpha (t - t_{\text{сп}}) S d\tau, \quad (6.17)$$

где α - коэффициент теплообмена от узла трения в окружающую среду, вычисляемый по формулам:

- при $t \leq 60$ °C $\alpha = 4,07 \sqrt[3]{t - t_{\text{сп}}}$;
- при $t < 60$ °C $\alpha = 11,63 e^{0,0023 t}$;

t - температура узла трения (корпуса подшипника, сальника, барабана и т. п.); $t_{\text{сп}}$ - температура окружающей среды; S - поверхность теплообмена.

После подстановки значений (6.14)—(6.17) в уравнение (6.12) имеем:

$$a d\tau = m c_i d\tau + 0 + \alpha (t - t_{\text{сп}}) S d\tau. \quad (6.18)$$

Разделяем переменные

$$d\tau = \frac{m c_i d\tau}{a - \alpha S (t - t_{\text{сп}})} \quad (6.19)$$

и после интегрирования находим:

$$\frac{\ln[a - \alpha S (t - t_{\text{сп}})]}{\alpha S} = \frac{\tau}{m c_i} + \text{const}. \quad (6.20)$$

Постоянную интегрирования определяем из начального условия:

Тогда при $\tau = 0$ $t - t_{\text{ср}} = 0$.

$$\text{const} = -\frac{\ln a}{\alpha S}. \quad (6.21)$$

После подстановки значения (6.21) в выражение (6.20) и несложных преобразований окончательно получаем выражение

$$\tau = \frac{m c_l}{\alpha S} \ln \left[\frac{a}{a - \alpha S (t - t_{\text{ср}})} \right] \quad (6.22)$$

для определения температуры узла трения в любой момент времени после возникновения аварийной ситуации, т. е. после прекращения отвода тепла системой охлаждения.

Решив выражение (6.22) относительно t , имеем:

$$t = t_{\text{ср}} + \frac{a}{\alpha S} \left(1 - e^{-\frac{\alpha S t}{m c_l}} \right), \quad (6.23)$$

а максимальную температуру в узле трения (при $\tau \rightarrow \infty$) можно определить по формуле

$$t_{\text{max}} = t_{\text{ср}} + \frac{a}{\alpha P}. \quad (6.24)$$

На действующих производствах отмечены случаи возгорания горючих материалов вследствие перегрева подшипников и сальников машин, барабанов и лент транспортеров и норий, шкивов и приводных ремней, выделения тепла при обработке древесины, пластмасс и металлов резанием, таблетировании лекарств, прессовании пластмасс и отходов древесины, а также при сжатии газов.

Подшипники скольжения

Подшипники скольжения сильнонагруженных и высокооборотистых валов и осей машин могут перегреваться вследствие:

- некачественной смазки;
- загрязнения подшипников;
- перекосов валов;
- чрезмерной затяжки подшипников;
- перегрузки машин;
- загрязнения корпусов подшипников отложениями.

При наличии систем централизованной смазки перегрев подшипников, помимо указанных причин, происходит из-за:

- повышения температуры масла, поступающего в подшипники;
- снижения расхода масла;
- загрязнения масла механическими примесями.

Примерную температуру подшипников в случае прекращения их охлаждения можно определить по формулам (6.23) - (6.24).

Для предотвращения перегрева подшипников применяют следующие способы и технические решения или их комбинации.

1. Смазку подшипников и подвижных частей машин и механизмов производят в соответствии с рекомендованными технической документацией маслами и смазками в установленные сроки.

2. Тщательно регулируют узлы трения при сборке и ремонте машин.

3. Предотвращают перегрузки машин и механизмов.

4. Очищают корпуса подшипников от наслоений краски, отложений пыли, волокнистых материалов и тому подобных загрязнений, ухудшающих теплообмен с окружающей средой (это мероприятие снижает также опасность самовозгорания отложений).

5. Устраивают системы воздушного, водяного или масляного охлаждения подшипников высоконагруженных и высокооборотистых машин и механизмов.

6. Устраивают системы централизованной смазки подшипников с автоматическим контролем и регулированием давления и температуры масла в системе, а также с контролем уровня масла в маслобаке.

7. Устраивают автоматическую блокировку, обеспечивающую включение резервного насоса системы централизованной смазки при остановке основного маслонасоса или падении давления в напорной линии, а также срабатывание звуковой и световой сигнализации.

8. Очищают масла от механических примесей в фильтре, установленном за насосом, подающим масло в подшипники.

9. Очищают теплообменные поверхности в масляном холодильнике системы централизованной смазки от отложений.

10. Заменяют подшипники скольжения подшипниками качения.

Примечание. Визуальный контроль температуры можно осуществить с помощью нанесенных на корпус подшипника термоиндикаторов (термокрасок, термокарандашей, жидких кристаллов и т.д.) по изменению их цвета, прозрачности или других параметров при нагревании.

Проскальзывание конвейерных лент и приводных ремней

Проскальзывание (буксование) конвейерных лент (транспортеров, элеваторов) и приводных ремней клиноременных передач относительно приводных барабанов и шкивов приводит к перегреву последних и воспламенению лент и ремней. К буксованию приводит:

- перегрузка конвейеров или машин;
- слабое натяжение лент или ремней;
- завал башмака элеватора, т. е. такая ситуация, когда ковш элеватора не может пройти сквозь толщу сыпучего материала;
- защемление ленты (ремня) или ее перекося;
- замасливание ленты (ремня).

Максимальную температуру барабана или шкива при длительном буксовании ленты или ремня можно определить по формуле (6.24).

Для предотвращения буксования лент и ремней используют следующие способы и технические решения или их комбинации.

1. Предотвращают перегрузку транспортеров путем ограничения толщины слоя материала на ленте транспортера, равномерной подачи материала с помощью питателей и тому подобных устройств.

2. Контролируют и при необходимости регулируют натяжение лент конвейеров и приводных ремней.

3. Устраивают натяжные станции, автоматически обеспечивающие требуемое натяжение лент конвейеров.

4. Предотвращают завал башмака элеватора сыпучим материалом, ограничивая толщину его слоя.

5. Применяют защитные устройства и приспособления, автоматически сигнализирующие о перегрузке и отключающие привод конвейеров и машин.

6. Устраняют перекосы лент, контролируют и регулируют зазоры между лентами конвейеров и кожухами или другими неподвижными предметами, находящимися рядом с конвейерами.

7. Очищают приводные барабаны и шкивы, ленты и ремни от загрязнений.

8. Своевременно заменяют изношенные ленты и ремни.

Загорание волокнистых материалов при наматывании их на валы

Загорание волокнистых и солоmistых материалов при наматывании их на валы (оси) машин и механизмов наблюдается на прядильных фабриках, льнозаводах, а также в комбайнах при уборке зерновых культур. Иногда загорание происходит при наматывании волокнистых материалов на валы конвейеров, транспортирующих отходы и готовую продукцию. На прядильных фабриках загорания часто возникают в результате наматывания на валы оборвавшихся шнуров, с помощью которых приводятся во вращение веретена прядильных машин. Сущность процесса загорания заключается в следующем. Волокнистый и солоmistый материал наматывается на вал (ось) около подшипника. Наматывание сопровождается образованием жгута, постепенным его уплотнением, сильным нагреванием при трении о стенки машины, затем обугливанием и наконец воспламенением.

Наматыванию волокнистых материалов на вращающиеся валы машин способствует: наличие увеличенных зазоров между валами и подшипниками (волокно, попадая в зазоры, защемляется, начинает наматываться на валы, все более и более уплотняясь); наличие оголенных участков валов и осей, с которыми могут соприкасаться волокнистые материалы; использование влажного и загрязненного сырья.

Для предотвращения наматывания волокнистых и солоmistых материалов на валы и оси машин и механизмов применяют следующие способы и технические решения или их комбинации.

1. При проектировании машин и механизмов обеспечивают минимальные зазоры между цапфами валов (осей) и подшипниками, не допуская их увеличения в процессе эксплуатации.

2. Валы (оси) защищают от непосредственного контакта с обрабатываемыми волокнистыми и солоmistыми материалами втулками (рис. 6.5), кожухами, кондукторами, направляющими планками, противонамоточными щитками, острыми ножами, разрезающими наматываемое волокно, и тому подобными устройствами.

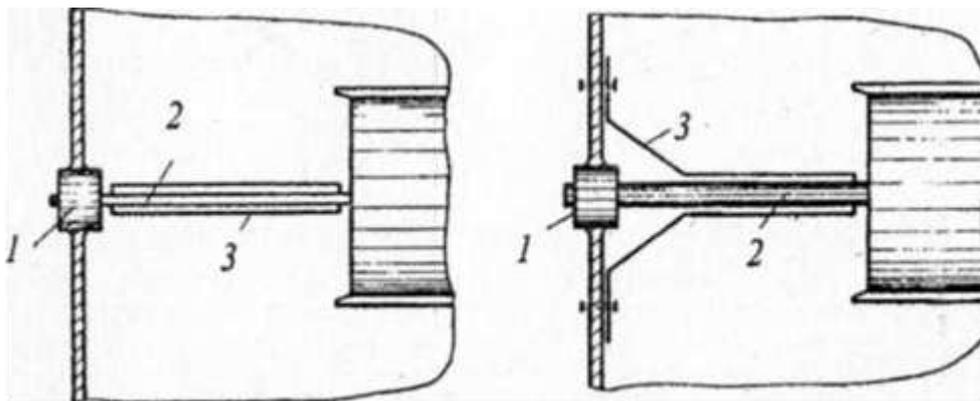


Рис. 6.5. Защита вала от наматывания волокнистых материалов: а - свободно насаженной цилиндрической втулкой; б - неподвижной конусной втулкой; 1 - подшипник; 2 - вал; 3 - защитная втулка

3. Контролируют состояние валов, на которых могут наматываться волокнистые и солоmistые материалы, и своевременно очищают их.

Загорание материалов при механической обработке

Процессы механической обработки поверхностей твердых материалов путем снятия стружки (процессы резания материалов) являются одними из основных в машиностроении. К таким процессам относятся: токарная обработка, строгание, фрезерование, сверловка, шлифование и т.д. Процесс резания материалов происходит и при различных нарушениях работы производственного оборудования. Так, при деформации кожуха элеватора острые кромки движущегося ковша срезают с него стружку вплоть до образования сквозных отверстий.

В процессе резания (совершения механической работы) происходит выделение тепла, количество которого зависит от вида процесса резания, режимов резания (скорости и глубины резания, продольной и поперечной подачи и пр.), механических и теплофизических свойств материала заготовки и инструмента, геометрии заточки инструмента и других факторов.

Например, при сверлении металлов наибольшее количество тепла переходит в обрабатываемую деталь, а при токарной обработке в стружку уходит 50-86 % общего количества тепла, в резец - 10-40 %, в заготовку - 3-9 %

и в окружающую среду - примерно 1 %. С увеличением скорости резания количество тепла, переходящего в стружку, увеличивается. Так, в процессе токарной обработки качественной стали резцом с наплавкой из твердого сплава при скорости резания 500 м/мин количество тепла, переходящего в стружку, достигает 99 % от общего количества тепла, выделяющегося при резании.

Температуру резания можно оценить по эмпирическим формулам:

- для литой стали ($\sigma_B = 40 \text{ кг/мм}^2$)

$$t_p = 138 V^{0,4} S^{0,16} h^{0,07}; \quad (6.25)$$

- для мартеновской стали (0,25–0,35 % углерода, $\sigma_B = 50\text{--}60 \text{ кг/мм}^2$)

$$t_p = 129 V^{0,5} S^{0,33} h^{0,14}; \quad (6.26)$$

- для мартеновской стали (0,4–0,5 % углерода, $\sigma_B = 70 \text{ кг/мм}^2$)

$$t_p = 154 V^{0,48} S^{0,33} h^{0,1}; \quad (6.27)$$

- для хромоникелевой стали (0,6–0,8 % Cr, 3,0–4,0 % Ni, $\sigma_B = 70\text{--}75 \text{ кг/мм}^2$)

$$t_p = 210 V^{0,44} S^{0,28} h^{0,11}; \quad (6.28)$$

- для чугуна (твердость по Бринелю 190 ед.)

$$t_p = 120 V^{0,5} S^{0,22} h^{0,04}. \quad (6.29)$$

Здесь t_p - температура резания, °С; V - скорость резания, м/мин; S - подача, мм/об; h - глубина резания, мм; σ_B - предел временной прочности.

При обработке пластмасс резанием из-за их низкой теплопроводности температура режущей кромки инструмента существенно повышается. Так, при резании блочного полиамида и полиамида с 15%-ным содержанием стекловолокна она достигает 350-400 °С. Поэтому при обработке большинства реактопластов наблюдается «прижог» материалов, а при обработке термопластов - расплавление и деформация материалов.

Для предотвращения перегрева материалов в процессах резания применяют следующие способы и технические решения или их комбинации.

1. Строго соблюдают режим обработки материалов резанием.
2. Используют инструмент, рекомендованный технологической документацией.
3. Заточку инструмента производят в соответствии с требованиями технологической документации.
4. Производят охлаждение зоны резания с помощью воды или специальных эмульсий.
5. Используют индустриальные масла, керосин, эмульсии для снижения трения при резании, протяжке, нарезании резьбы и т.д.

Нагрев газов при сжатии

Сжатие (компримирование) газов производят специальными машинами - компрессорами. Процесс сжатия газа в компрессоре в зависимости от условий теплообмена может быть изотермическим, адиабатным или политропным.

В процессах адиабатного или близких к нему режимах сжатия, реализуемых в современных компрессионных машинах, температура газа может подниматься с 20 °С примерно до 870-1040 °С (при начальном давлении 0,1 МПа и конечном давлении 15,0 МПа), что, в свою очередь, приводит к повышению температуры отдельных деталей, узлов и компрессора в целом. При высоких температурах может не только нарушаться процесс сжатия газов, ухудшаться смазка и происходить ускоренный износ деталей и узлов компрессора, но могут возникать аварийные ситуации, в особенности при отказе систем охлаждения (заклинивание поршней, поломка привода, термическое разложение (иногда со взрывом) сжимаемого горючего газа, самовоспламенение масла в картере компрессора и т. д.).

При эксплуатации воздушных компрессов повышенная температура сжатого воздуха способствует разложению смазки с образованием нагара на стенках цилиндров и клапанах, что приводит к снижению их герметичности при закрытии и дальнейшему резкому повышению температуры сжимаемого воздуха. Под влиянием вибраций, неизбежных при работе компрессора, нагар частично отстает от стенок и уносится в трубопровод, холодильник, воздушный аккумулятор, осаждаются в них и формирует вместе с парами масел весьма прочные отложения. Скопление нагара в трубопроводах уменьшает их сечение, вызывая потерю энергии, повышение давления и температуру сжатого газа. Кроме того, нагаромасляные отложения способны самовозгораться при высоких температурах сжатого воздуха.

Максимальную температуру газа при сжатии в компрессоре и отсутствии охлаждения определяют по формуле

$$t_k = (t_H - 273) \left(\frac{p_k}{p_H} \right)^{\frac{n-1}{n}} + 273, \quad (6.30)$$

где t_H и t_k - температура газа в компрессоре до сжатия (начальная) и после сжатия (конечная), соответственно, °С; p_H и p_k - соответственно, начальное и конечное давление газа, Па; n - показатель политропы ($n \approx 0,9 k$, где k - показатель адиабаты).

Для обеспечения пожарной безопасности при сжатии газов применяют следующие способы и технические решения или их комбинации.

1. Сжатие газов до высоких давлений производят в многоступенчатых компрессорах.

Исходя из условий безопасного режима эксплуатации компрессора, число ступеней сжатия газа определяют по формуле

$$x \geq \frac{\lg p_k - \lg p_H}{\lg [\varepsilon]}, \quad (6.31)$$

где $[\varepsilon]$ - допустимая степень сжатия газа, определяемая из выражения

$$[\varepsilon] = \left(\frac{t_p^{603} + 273}{t_H + 273} \right)^{\frac{n}{n-1}}, \quad (6.32)$$

где $t_p^{\text{без}}$ - безопасная температура газа в конце сжатия, °С.

В качестве $t_p^{\text{без}}$ принимают минимальное значение из трех величин:

-допустимой температуры, исходя из условия термического разложения горючего газа;

-безопасной температуры сжимаемой горючей смеси, равной $0,8t_{\text{св}}$ (здесь $t_{\text{св}}$ - температура самовоспламенения газа, °С);

-допустимой температуры масла в картере компрессора, равной $0,8 t_{\text{св}(3.m)}$

2. Устраивают эффективную систему охлаждения компрессора.

3. В многоступенчатых компрессорах применяют промежуточные холодильники для охлаждения газа после каждой ступени сжатия.

4. Своевременно очищают теплообменные поверхности в компрессорах и в промежуточных холодильниках от отложений.

5. Контролируют температуру хладоносителя и регулируют его расход с автоблокировкой привода компрессора при падении расхода хладоносителя ниже регламентированного уровня.

6. Контролируют температуру смазочного масла в картере компрессора.

7. Контролируют температуру сжатого газа с автоблокировкой привода компрессора при повышении ее значения выше $t_p^{\text{без}}$.

8. Контролируют давление во всасывающей линии компрессора с автоблокировкой привода при его падении ниже регламентированного уровня.

9. Контролируют и регулируют давление газа в нагнетательной линии компрессора.

10. В компрессорах объемного действия применяют обратные клапаны, устанавливаемые после каждой ступени сжатия.

11. Контролируют давление масла в системе смазки компрессора с автоблокировкой привода при его падении ниже регламентированного уровня.

Контрольные вопросы

Укажите условия, необходимые для возникновения горения.

Укажите основные признаки классификации производственных источников зажигания и поясните их.

Что понимают под термином «вынужденное воспламенение»!

Почему горючие смеси легче воспламеняются, чем горючие жидкости и твердые горючие материалы?

При каких условиях источник тепла может стать источником вынужденного зажигания горючей среды?

Какие параметры служат для оценки опасности постоянно действующего источника тепла как источника зажигания?

Что понимают под термином «самовоспламенение»?

Что понимают под термином «самовозгорание»?

В каком нормативном документе приводятся способы предотвращения образования в горючей среде (или внесения в нее) источников зажигания, а также методики определения пожароопасных параметров источников тепла?

В каком нормативном документе приводятся методы экспериментального определения минимальной энергии зажигания и температурных условий теплового самовозгорания веществ и материалов?

При каких условиях энергетический (тепловой) источник не станет источником вынужденного зажигания горючей среды?

При каких условиях не происходит самовозгорание веществ и материалов, склонных к тепловому самовозгоранию?

При эксплуатации каких видов оборудования образуются искры -тлеющие частицы несгоревшего топлива или сажевых отложений?

Укажите способы обеспечения пожарной безопасности при проектировании и эксплуатации аппаратов огневого действия.

На какие типы подразделяются искроулавливатели и искрогасители?

Укажите достоинства и недостатки искроулавливателей и искрогасителей различного типа.

Укажите способы обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации двигателей внутреннего сгорания.

Укажите способы обеспечения пожарной безопасности при проектировании и эксплуатации факельных установок.

Укажите способы обеспечения пожарной безопасности при проведении огневых ремонтных работ.

Перечислите условия, которые способствуют самовозгоранию горючих веществ и материалов при их контакте с воздухом.

Перечислите виды тепловых импульсов, которые могут привести к самовозгоранию горючих веществ и материалов.

Перечислите способы предотвращения самовоспламенения и/или самовозгорания горючей среды.

Что такое фрикционные искры?

Почему происходит нагревание частичек металла, образующихся при соударении подвижных частей машин о неподвижные части?

Почему при соударении деталей из цветных металлов не образуются искры?

Укажите способы предотвращения образования искр удара и трения при попадании в оборудование вместе с перерабатываемыми веществами и материалами инородных примесей.

Укажите способы предотвращения образования в горючей среде источников зажигания при выполнении ремонтных работ.

Укажите причины перегрева подшипников скольжения сильно нагруженных и высокооборотистых валов и осей машин.

Какие применяются способы для предотвращения перегрева подшипников?

Какие применяются способы для предотвращения буксования лент и ремней?

Какие применяются способы для предотвращения наматывания волокнистых и солоmistых материалов на валы и оси машин и механизмов?

Какие применяются способы для предотвращения перегрева материалов в процессах резания?

Укажите причины повышения температуры узлов и деталей компрессоров при сжатии газов.

Какие опасности могут возникнуть при сжатии газов в компрессорах?

Какие применяются способы для обеспечения пожарной безопасности при сжатии газов?

ЛИТЕРАТУРА

Пожарная безопасность технологических процессов: Рабочая программа. - М: Академия ГПС МЧС России, 2003.

ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования.

ГОСТ Р 12.3.047-98 Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.

ГОСТ 12.1.044-89 Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.

ППБ 01-03 Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.

НПБ 254-99 Огнепреградители и искрогасители. Общие технические требования. Методы испытаний.

Алексеев М.В., Волков О.М., Шатров Н.Ф. Пожарная профилактика технологических процессов производств. - М.: ВИПТШ МВД СССР, 1985.

Таубкин СИ. Пожар и взрыв, особенности их экспертизы- М.: ВНИИПО МВД РФ, 1999.

Лекция7

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА ПУТЕМ ОГРАНИЧЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ГОРЮЧИХ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ

Анализ причин и условий, способствующих развитию пожара на производственных объектах. Причины перерастания начавшегося пожара в крупный пожар

Практика эксплуатации различных производств свидетельствует, что в одних случаях начавшийся пожар через некоторое время самолокализуется, а в других - может получить быстрое развитие. Из одного технологического аппарата он может перейти в другой, выйти за пределы технологического оборудования, распространиться в соседнее производственное помещение, перекинуться на строительные конструкции здания и сооружения и таким

образом принять большие размеры, причинить значительный материальный ущерб, а иногда привести и к гибели людей.

По статистике, в РФ ежегодно происходит около 300 тыс. пожаров и гибнет около 5 тыс. человек. Количество крупных пожаров, происходящих ежегодно в нашей стране, сравнительно невелико и в среднем составляет около 0,2 % общего количества всех пожаров. Однако только прямой ущерб от них может достигать в среднем до 25 % и более общего ущерба всех пожаров. В связи с этим становится понятным, насколько важно в профилактической работе Госпожнадзора не только предупреждение пожаров, но и создание условий для их локализации.

Пожар может получить быстрое распространение только в том случае, если в технологических процессах производства будут для этого соответствующие причины (они непосредственно связаны с технологией производства) и условия для распространения начавшегося пожара.

Причинами быстрого распространения пожара в условиях производства являются:

- 1) сосредоточение большого количества горючих веществ и материалов;
- 2) наличие технологических систем транспорта, связывающих в единое целое не только технологические установки, но и производственные помещения по горизонтали и вертикали здания или сооружения;
- 3) внезапное появление факторов, ускоряющих его развитие (растекание огнеопасных жидкостей при аварийном истечении газа из поврежденного оборудования, разрушение аппаратов при взрыве).

Условиями, способствующими распространению пожара на производстве, являются:

- 1) позднее обнаружение и сообщение о нем;
- 2) отсутствие или неисправность стационарных и первичных средств пожаротушения;
- 3) неквалифицированные действия людей при тушении пожара. Эти условия непосредственно не связаны с технологией производства и поэтому здесь не раскрываются.

Знание причин распространения пожара позволяет разработать эффективные решения пожарной безопасности для предупреждения крупных пожаров. Среди таких решений можно назвать следующие:

- 1) снижение при проектировании и эксплуатации производства количества горючих веществ, обращающихся в технологическом процессе производства;
- 2) защита производственных коммуникаций от распространения пламени;
- 3) защита аппаратов от растекания и разрушения при взрыве.

Мероприятия, позволяющие уменьшить количество горючих веществ и материалов в производстве

Снижение количества горючих веществ на стадии проектирования производства

Снижение количества горючих веществ и материалов, обращающихся в технологическом процессе без ущерба для производства, не только создает условия для предупреждения распространения пожаров, но и уменьшает вероятность его возникновения.

Существует три основных направления разработки решений по снижению количества горючих веществ в технологии производства на стадии проектирования:

- 1) выбор метода производства;
- 2) разработка технологической схемы;
- 3) выбор варианта размещения технологического оборудования.

Выбор метода производства основан на том, что один и тот же конечный продукт можно получить различными методами. Так, полистирол в промышленности получают блочным, эмульсионным и суспензионным методами. Пожарная опасность этих методов отличается друг от друга и количеством веществ, обращающихся в технологических процессах, и их пожарной опасностью, поэтому наиболее широкое распространение получил суспензионный метод производства полистирола, который по этим показателям выгоднее отличается от других. Таким образом, при прочих равных условиях для проектной разработки принимают тот метод, при котором используется менее пожаровзрывоопасное сырье и расход его на единицу готового продукта меньше.

Разработка технологической схемы производства предполагает:

-выполнение в соответствии с исходными данными материальных расчетов для определения вида, количества и размеров стандартного и нестандартного оборудования (предпочтение отдают аппаратам непрерывного действия), а следовательно, и количества обращающихся в них горючих веществ и материалов;

-исключение из схемы вспомогательных емкостных аппаратов, таких, как промежуточные емкости, напорные баки, емкостные мерники, рефлюксные емкости и другие, которые заменяют на автоматические регуляторы давления и расхода, автоматические питатели, счетчики-дозаторы непрерывного действия и т. п.;

-сокращение перечня разнородных огнеопасных жидкостей, используемых в производстве в качестве сорбентов, растворителей и т. п. (при этом появляется возможность уменьшения цеховых запасов каждого вида жидкости, протяженности трубопроводов, числа насосов, задвижек и т.п.).

Выбор варианта размещения технологического оборудования, наряду с вопросами экономики, позволяет повысить уровень пожарной безопасности за счет снижения удельного количества горючих веществ в технологии производств. Это достигается:

-преимущественным размещением технологического оборудования на открытых площадках (этажерках);

-использованием оптимальных схем трубопроводной обвязки отдельных аппаратов, установок и предприятия в целом, обеспечивающих минимальную общую длину трубопроводов, сокращение числа насосов (компрессоров), промежуточных емкостей, встречных потоков и т.п.;

-ограничением производственных площадей в зданиях и на открытых площадках в зависимости от категории помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности;

-изоляцией технологического оборудования в отдельных отсеках, помещениях, кабинах и т. п.;

-размещением наиболее опасного технологического оборудования (производства категории А, Б) на верхних этажах или по периметру здания на нижележащих этажах; компоновкой однотипного оборудования в виде блоков (например, на нефтеперерабатывающих установках ЭЛОУ-АВТ-6, ЛК-6У);

-устройством противопожарных разрывов между производственными зданиями, сооружениями, технологическими установками и отдельными аппаратами;

-установлением предельно допустимого количества огнеопасных веществ на производственной площади.

Снижение количества горючих веществ в период нормальной эксплуатации производства

При нормальной эксплуатации технологического оборудования в условиях производства может обращаться значительное количество горючих веществ и материалов в виде исходного сырья, полупродуктов (полуфабрикатов), готовых продуктов и отходов производства (за исключением производств с безотходной технологией). Для снижения количества горючих веществ в период нормальной эксплуатации производства применяют следующие решения пожарной безопасности режимного характера:

1) защита производственных помещений от перегрузки горючими веществами;

2) уменьшение количества горючих отходов;

3) замена горючих веществ.

Защита производственных помещений от перегрузки горючими веществами. В период нормальной эксплуатации производства для работы отдельного аппарата (станка) или установки необходимо иметь определенное количество исходного сырья в виде твердых горючих веществ, легковоспламеняющихся и горючих жидкостей и газов, которые могут размещаться непосредственно в производственном цехе или на сырьевых складах предприятия. Горючие вещества в виде готовых продуктов (продукции) могут также накапливаться на конечных стадиях технологии производства, в цехе, в складских помещениях. Общее количество накапливающихся горючих веществ и материалов зависит от производительности технологического оборудования и организации технологического процесса (автоматизации, механизации, технологической дис-

циплины). В каждом конкретном случае устанавливают предельно допустимую норму горючей нагрузки помещений путем ограничения количества изделий, одновременно находящихся в цехе (для крупногабаритных изделий), горючих веществ по площади (для штучной и фасованной продукции в таре), жидких и твердых веществ по объему или массе, а также, исходя из производительности технологического оборудования или сменной потребности.

Уменьшение количества горючих отходов в производственных условиях достигается выбором метода переработки (обработки) веществ. Так, при механической обработке твердых веществ и материалов традиционными методами (строгание, резание, распиловка, фрезерование) уменьшение горючих отходов может быть достигнуто за счет рационального определения размеров и формы заготовок. Почти полное сокращение отходов достигается применением таких безотходных методов обработки, как штамповка, прессование, литье и т. п. Важным для сокращения количества горючих веществ в производственных помещениях является своевременное удаление горючих отходов от мест их образования в технологических процессах. Уборка отходов бывает периодической и непрерывной, ручной и механической. Наибольший эффект дают непрерывные механизированные способы удаления отходов. Среди них широкое распространение получили аспирационные системы местных отсосов, которые позволяют практически полностью исключить поступление в цех горючих отходов производства в виде паров, газов и пылей.

Замена горючих веществ на негорючие или менее горючие имеет большие возможности в обеспечении пожарной безопасности не только при проектировании, но и в период эксплуатации производства. Большой эффект дает вытеснение из производства наиболее пожароопасных горючих веществ, например, замена целлулоида менее горючими пластмассами, нитроцеллюлозной киноплёнки триацетилцеллюлозной, лакокрасочных материалов и клеев на летучих растворителях на водорастворимые, легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, применяемых в качестве растворителей при промывке и обезжиривании деталей, на негорючие технические моющие средства. Успешно осуществляется также разработка и внедрение трудновоспламеняемых и трудногорючих полимерных материалов (пластмассы, синтетические каучуки, химические волокна) путем введения в их состав галоидопроизводных, фосфоропроизводных и других химических веществ и соединений с ингибирующими свойствами.

Эвакуация горючих веществ и материалов при авариях и пожарах на производстве

При аварии или пожаре на производстве для снижения опасности их распространения возникает необходимость в экстренной эвакуации горючих веществ из опасной зоны. Для этой цели на производстве создаются специальные системы, обеспечивающие аварийную эвакуацию огнеопасных веществ и материалов.

Аварийный слив ЛВЖ и ГЖ. Методика расчета самотечного слива и слива под избыточным давлением. Меры обеспечения пожарной безопасности систем аварийных сливов

Аварийный слив ЛВЖ и ГЖ

Системы аварийного слива предусматриваются из емкостной аппаратуры, содержащей огнеопасные жидкости (сжиженные газы, легко воспламеняющиеся и горючие жидкости). Системы аварийного слива (рис. 7.1) различают: по способу слива жидкости (самотеком, под избыточным давлением, перекачкой с помощью насоса), по приводу в действие (с ручным и автоматическим пуском), по схеме слива (простая схема - одного аппарата и сложная - слив из группы аппаратов).

Аварийный слив осуществляют в специальные аварийные емкости или в емкости промежуточных и сырьевых (товарных) складов, в технологические аппараты (смежных отделений, установок и цехов данного производства). Объем аварийной емкости в большинстве случаев принимается из расчета полного слива жидкости из одного наибольшего по объему аппарата цеха (установки).

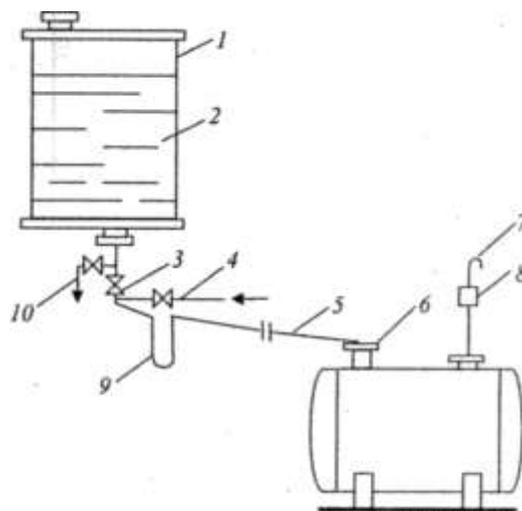


Рис. 7.1. Схема аварийного слива огнеопасной жидкости самотеком:

1- опорожняемый аппарат; 2- сливаемая жидкость; 3- аварийная задвижка; 4- линия подачи инертной среды; 5- сливной трубопровод; 6- аварийная емкость; 7- дыхательная линия; 8- огнепреградитель; 9- гидрозатвор; 10- расходная линия

Аварийные емкости представляют собой закрытые аппараты, их обеспечивают дыхательными трубами, защищенными огнепреградителями. Для предупреждения резкого повышения давления при поступлении в аварийную емкость высоконагретого продукта накапливающийся водяной конденсат систематически удаляют, для чего аварийную емкость устанавливают с небольшим уклоном в сторону сливного (дренажного) патрубка. Перед подачей высоконагретой жидкости аварийную емкость продувают

инертной средой (водяным паром или инертным газом) для предупреждения возможного взрыва образующейся при сливе паровоздушной смеси. Аварийные емкости располагают за пределами здания на уровне земли или под землей. При подземном расположении емкость может размещаться на расстоянии не менее 1 м от глухой стены производственного здания и не менее 4-5 м от стены с проемами.

Трубопроводы, по которым осуществляется аварийный слив жидкости, прокладывают с уклоном в сторону аварийной емкости с минимальным числом поворотов. Их защищают гидравлическими затворами и **оборудуют** единственной по длине сливного трубопровода аварийной задвижкой на каждый опорожняемый аппарат. Аварийные задвижки при ручном пуске, как правило, устанавливают вне здания или на первом этаже выхода из здания. При дистанционном (полуавтоматическом) пуске аварийные задвижки устанавливают непосредственно у опорожняемых аппаратов, а пусковые кнопки - у выхода из здания или вне здания. При автоматическом пуске датчики систем привода задвижек устанавливают в зоне наиболее вероятного возникновения пожара.

Одним из важнейших условий, обеспечивающих эффективность действия системы аварийного слива, является обеспечение допустимой продолжительности аварийного слива, которая устанавливается не более 30 мин в зависимости от предела огнестойкости несущих строительных конструкций и конструкций аппаратов и трубопроводов. Допустимая продолжительность аварийного слива включает в себя продолжительность опорожнения аппарата и продолжительность операций по приведению системы слива в действие. Учитывая возможность деформации незащищенных металлических несущих конструкций здания и технологического оборудования, допустимую продолжительность аварийного слива на практике чаще принимают не более 10-15 мин.

Если это условие обеспечить не удастся, то слив самотеком ускоряют. Для этой цели в опорожняемом аппарате над зеркалом жидкости создают избыточное давление инертной среды (азота, диоксида углерода).

Методика расчета систем аварийного слива

Задача проектного (или поверочного) расчета установок аварийного слива сводится к определению фактической продолжительности процесса эвакуации жидкости из опасной зоны, сравнению ее с допустимой (нормативной) продолжительностью аварийного режима. В общем случае продолжительность процесса аварийного слива из емкостной аппаратуры определяется зависимостью

$$\tau_{ав.сл} = \tau_{опор} + \tau_{оп} \leq \tau_{ав.рег} \quad (7.1)$$

где $\tau_{ав.сл}$ - продолжительность аварийного слива; $\tau_{опор}$ - продолжительность опорожнения аппарата; $\tau_{оп}$ - продолжительность операций по приведению

системы слива в действие; $\tau_{\text{авреж}}$ - допустимая продолжительность аварийного режима.

Рассмотрим методы оценки некоторых величин, входящих в зависимость (7.1). Продолжительность операций по приведению системы аварийного слива в действие зависит от конкретных особенностей технологической установки. Допустимая продолжительность аварийного режима устанавливается в пределах 10-30 мин, исходя из условий безопасности (огнестойкость несущих и ограждающих конструкций, защита технологической аппаратуры и коммуникаций от теплового воздействия при пожаре, характеристика пожароопасных свойств жидкости и т. п.) и экономической целесообразности. Когда в качестве определяющего фактора принимается возможность деформации незащищенных металлических конструкций или технологической аппаратуры и коммуникаций, допустимая продолжительность аварийного режима может быть принята равной 15 мин, исходя из огнестойкости незащищенных металлических конструкций и среднего времени до начала тушения пожара.

Продолжительность собственно аварийного слива зависит от формы и размеров емкостного аппарата, длины, конфигурации и диаметра аварийного трубопровода, величины избыточного давления над поверхностью жидкости и ее физических свойств. Методика расчета продолжительности опорожнения емкостных аппаратов (постоянного и переменного по высоте сечения) как для слива самотеком, так и для слива под действием избыточного давления инертной среды над поверхностью жидкости основана на законах гидравлики.

Аварийный слив из одиночного (постоянного сечения по высоте) аппарата. Дифференциальное уравнение для процесса опорожнения аппарата постоянного сечения (при отсутствии притока в него жидкости) имеет вид

$$d\tau = (F / \alpha f \sqrt{2g}) dH / \sqrt{H}, \quad (7.2)$$

где F - площадь поперечного сечения аппарата; f - сечение аварийного трубопровода на выходе; α - коэффициент расхода системы.

Интегрирование уравнения (7.2) дает время полного опорожнения аппарата

$$\tau_{\text{опр}} = (2F / \alpha f \sqrt{2g}) (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}). \quad (7.3)$$

В том случае, когда объем жидкости задан, формула (7.3) может быть представлена следующим образом:

$$\tau_{\text{опр}} = V_{\text{ж}} / q_{\text{ср}}, \quad (7.4)$$

где $V_{\text{ж}}$ - объем истекающей жидкости; $q_{\text{ср}}$ - средняя пропускная способность системы: $q_{\text{ср}} = 0,5(q_{\text{max}} + q_{\text{min}})$ здесь q_{max} - пропускная способность системы при максимальной высоте столба жидкости; q_{min} - то же, но при минимальной высоте столба жидкости.

Коэффициент расхода системы слива определяют по формулам, изучаемым в гидравлике.

Среднюю скорость истечения жидкости определяют как среднеарифметическое значение скоростей при уровнях жидкости H_1 и H_2 .

Если слив происходит под давлением инертной среды (азота, водяного пара, двуокиси углерода и т. п.), общая формула определения времени опорожнения аппарата (постоянного по высоте сечения) принимает вид

$$\tau_{\text{опор}} = 2F \left(\sqrt{(p_n / \rho g) + H_1} - \sqrt{(p_n / \rho g) + H_2} \right) / \alpha f \sqrt{2g}, \quad (7.5)$$

где p_n - избыточное давление над поверхностью жидкости; ρ - плотность жидкости при данной температуре.

Аварийный слив из одиночного (переменного по высоте сечения) аппарата. В качестве аппаратов с переменным по высоте сечением могут рассматриваться горизонтальные цилиндрические резервуары (цистерны), аппараты составные и конической формы, шаровые резервуары и т. п. В аппаратах данного типа в процессе истечения жидкости непрерывно изменяются напор, скорость и площадь свободной поверхности.

Общая формула для определения времени опорожнения аппарата, переменного по высоте сечения, имеет вид:

$$\tau_{\text{опор}} = [1/2\alpha f(n+0,5)](m_1 H_1^{n+0,5} + m_2 H_2^{n+0,5}), \quad (7.6)$$

где m и n — соответственно коэффициент и показатель степени функциональной зависимости площади сечения поверхности жидкости от уровня: $m_1 = F_1 / H_1^n$, $m_2 = F_2 / H_2^n$, $n = \lg(F_2 - F_1) / \lg(H_2 / H_1)$, здесь F_1 и F_2 - площадь поверхности при уровнях H_1 и H_2 .

Если аппарат имеет несколько переменных сечений, время его опорожнения определяется для каждой пары уровней (начиная с H_1) и затем суммируется для всего аппарата. Ниже приводятся расчетные формулы для наиболее распространенных аппаратов.

Время опорожнения горизонтального цилиндрического аппарата (цистерны) при турбулентном режиме движения жидкости может быть найдено по формуле В.С. Яблонского:

$$\tau_{\text{опор}} = (LD\sqrt{D} / 2,6\alpha d^2) A, \quad (7.7)$$

где L - длина котловой части аппарата; D - диаметр аппарата; d - диаметр сливного трубопровода на выходе; A - параметр, учитывающий степень сокращения времени опорожнения аппарата (в зависимости от величины напора H) и определяемый по графику (рис. 7.2).

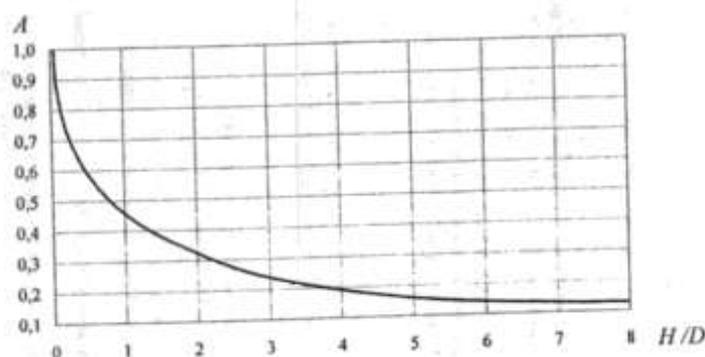


Рис. 7.2. Графическая зависимость параметра A от величины напора

Аппараты шаровой формы

Время опорожнения *аппарата шаровой формы* (диаметром D) может быть найден по формуле

$$\tau_{\text{опор}} = (D^2 \sqrt{D} / 250 \alpha d^2) A. \quad (7.8)$$

Расчет слива из группы аппаратов. Рассмотрим систему аварийного слива из двух аппаратов (рис. 7.3). Изменение схемы работы системы определяется соотношением гидродинамических напоров.

Схема I- Жидкость движется в направлении, указанном на рис. 7.3, а, если $H_A > H_B > H_D$. Резервуар A питает резервуары C и D .

Схема II. Жидкость движется в направлении, указанном на рис. 7.3, б, если $H_A > H_D > H_B$. Резервуары A и D питают резервуар C .

Схема III. Жидкость движется в направлении, указанном на рис. 7.3, в, если $H_A > H_B = H_D$. Резервуар D оказывается бездействующим, и реализуется схема простого слива из одиночного аппарата.

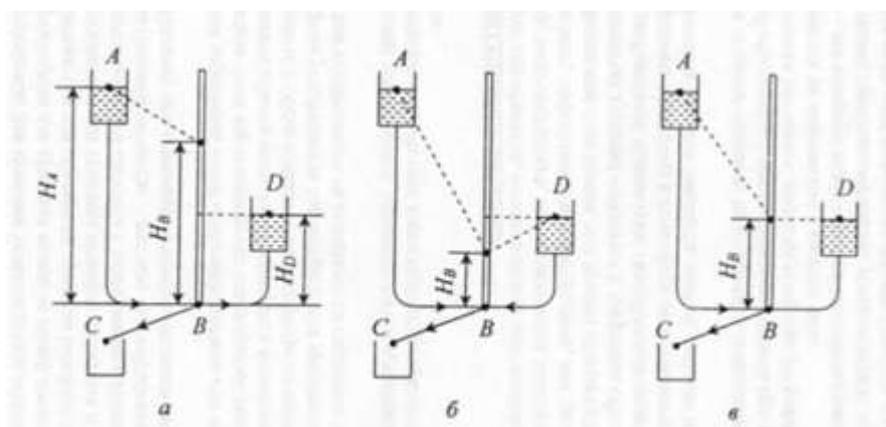


Рис. 7.3. Схемы аварийного слива из двух аппаратов

Если обозначить расход на участке AB через Q_A , на участке BD через Q_D , на участке BC через Q_B , получим следующее соотношение между расходами (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Вариант схемы		
I	II	III
$Q_A = Q_D + Q_B$	$Q_A = Q_B - Q_D$	$Q_D = 0$
$Q_A > Q_B$	$Q_A < Q_B$	$Q_A = Q_B$

Соотношения расходов позволяют определить условия существования той или иной схемы в зависимости от диаметра труб для участков и напоров H_A и H_D , т. е. в зависимости от известных величин воспользуемся формулой потерь напора

$$Q^2 = k^2 h / l \quad \text{или} \quad Q^2 = h / a, \quad (7.9)$$

где Q - расход жидкости; k - расходная характеристика труб; h - потери напора; l - длина участка трубы; a - коэффициент характеристики трубы.

Тогда условия существования той или иной схемы определяются обобщенным соотношением

$$k_{AB}^2 \frac{H_A - H_D}{l_{AB}} \begin{matrix} \geq \\ \leq \\ = \end{matrix} k_{BC}^2 \frac{H_D}{l_{BC}}, \quad (7.10)$$

где «>» относится к схеме I, «<» - к схеме II и «=» - к схеме III.

Считая заданными значения величин H_A , H_D , l_{AB} , l_{BC} , l_{BD} , d_{AB} , d_{BC} , d_{BD} , потери напора и расхода могут быть определены по формулам, образующим систему уравнений (табл. 7.2).

Таблица 7.2

Участок трубопровода	Варианты схем		
	I	II	III
Участок AB	$H_A - H_B = a_{AB} Q_A^2$		
Участок BC	$H_B = a_{BC} Q_C^2$		
Участок BD или DB	$H_B - H_D = a_{BD} Q_B^2$	$H_D - H_B = a_{BD} Q_D^2$	
Соотношение расходов	$Q_A = Q_B + Q_D$	$Q_B = Q_A + Q_D$	$Q_A = Q_B$
Неизвестные	H_B, Q_A, Q_B, H_D	H_B, Q_A, Q_B, H_D	$H_B, Q_A = Q_B$

В общем случае решение может быть получено графоаналитическим методом, как показано на рис. 7.4 для схемы II (одновременный слив жидкости из резервуаров A и D), т. е. для наиболее предпочтительного варианта слива.

Значения коэффициентов характеристик трубопроводов определяются из соотношения

$$a = l/k^2. \quad (7.11)$$

Для упрощения расчетов величину l находят как сумму реальной длины участка трубопровода l_y и эквивалентной длины l_z , которая учитывает потери напора в местных сопротивлениях и определяется по формуле

$$l_z = d \xi / \lambda, \quad (7.12)$$

где d - диаметр трубопровода; ξ - коэффициент местных сопротивлений; λ - коэффициент сопротивления трению трубопроводов.

По схеме II трубопроводы AB и DB (см. рис. 7.3) работают параллельно и их расходы суммируются при равной величине напоров. Координаты точки N — точки пересечения суммарной характеристики с характеристикой трубопровода BC (кривая 3) - являются решением системы уравнений. Если через точку N провести прямую, параллельную оси абсцисс, то точки пересечения этой прямой кривыми характеристик трубопроводов (точки K и M) определяют

расходы по трубопроводам AB и DB . По этим расходам рассчитывают время опорожнения каждого резервуара.

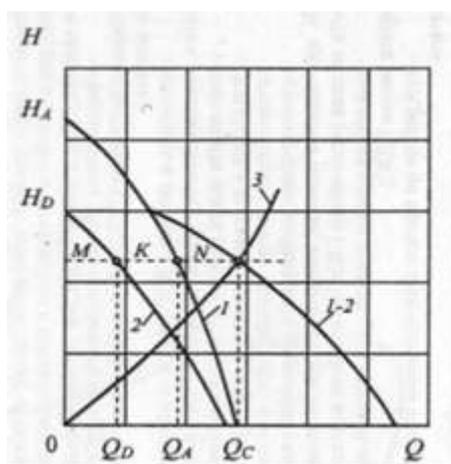


Рис. 7.4. Графоаналитический метод расчета аварийного слива группы аппаратов: кривые характеристик трубопроводов -1 -AB;2-DB;3-BC; 1-2-ABиDB

Аварийный выпуск горючих газов и паров. Методика расчета систем аварийного стравливания. Меры обеспечения пожарной безопасности систем аварийных выпусков

Аварийный выпуск горючих газов и паров

Необходимость в экстренной эвакуации из опасной зоны при аварии или пожаре возникает и при эксплуатации аппаратов с горючими газами и перегретыми парами ЛВЖ и ГЖ. Процесс эвакуации на практике обеспечивается с помощью систем аварийного стравливания (выпуска) горючих паров и газов, которые по аналогии с системами аварийного слива огнеопасных жидкостей также должны удовлетворять по своему быстрдействию допустимой продолжительности аварийного стравливания. Аварийный сброс паров и газов осуществляется путем их выпуска под действием избыточного давления, которое образовалось к моменту открытия аварийной задвижки. Привод задвижки может быть ручным или автоматическим. Однако в отличие от систем аварийного слива жидкостей стравливание паров и газов осуществляется не в аварийную емкость, а по спускному трубопроводу, через сбросную свечу в атмосферу. При этом окружающая среда может оказаться загазованной на значительной территории, что делает небезопасным с пожарной точки зрения процесс стравливания.

Для предупреждения опасности образования горючей концентрации системы стравливания устраивают, как правило, самостоятельно для каждого аппарата; с помощью расчетов определяют безопасную высоту свечи; на выпускных линиях создают условия факельного выброса, при котором струя пара или газа поступает в атмосферу в развитом турбулентном режиме. При

необходимости аварийного выпуска горючих паров и газов одновременно из нескольких аппаратов большого объема сброс осуществляют в цеховые или общезаводские факельные системы для их сжигания.

Факельная система предназначена для сброса и последующего сжигания горючих газов и паров в случаях:

срабатывания устройств аварийного сброса, предохранительных клапанов, гидрозатворов, ручного стравливания, а также освобождения технологических блоков от газов и паров в аварийных ситуациях автоматически или с применением дистанционно управляемой запорной арматуры;

постоянных сдувок, предусмотренных технологическим регламентом;

периодических сбросов газов и паров, пуска, наладки и остановки технологических объектов.

Принципиальные схемы сброса газов и паров приведены на рис. 7.5 и 7.6.

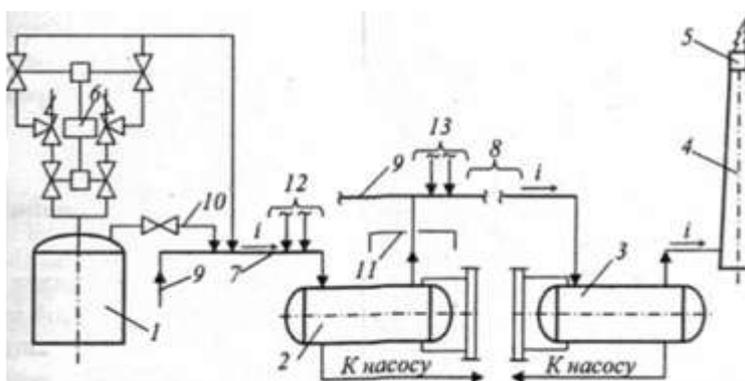


Рис. 7.5. Принципиальная схема сброса газов (паров) в факельную систему от предохранительных клапанов: 1 - защищаемый аппарат; 2 - цеховой сепаратор; 3 - факельный сепаратор; 4 - факельный ствол; 5 - газовый затвор; 6 - блокировочное устройство «закрыто-открыто»; 7 - цеховой коллектор; 8 - факельный коллектор; 9 - продувочный газ; 10 - линия ручного сброса; 11 - границы цеха; 12 - сброс газов от предохранительных клапанов от других аппаратов цеха; 13 - сброс газов от других цехов производства

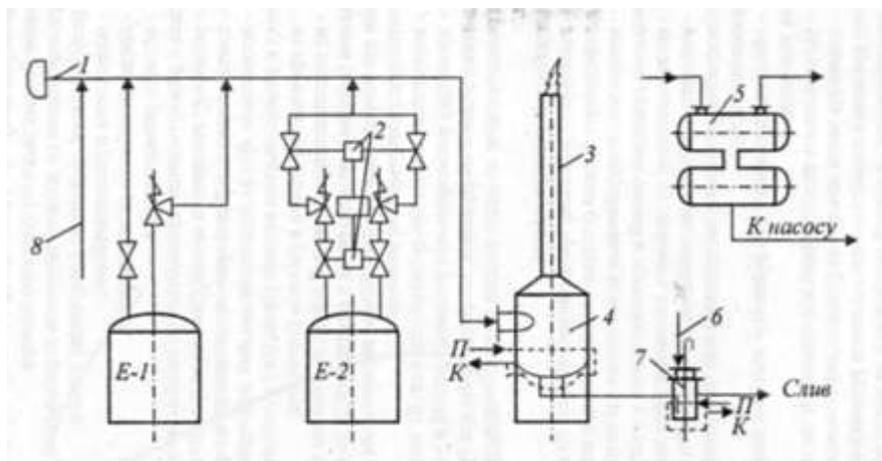


Рис. 7.6. Принципиальная схема сброса газов (паров) в факельную систему с постоянным отводом конденсата из сепаратора через гидрозатвор: 1 - факельный коллектор; 2 - блокировочное устройство; 3 - факельный ствол; 4 - сепаратор (вариант А); 5 - сепаратор (вариант Б); 6 - подача затворной жидкости; 7 - гидрозатвор; 8 - продувочный газ

По каждому источнику сброса газов и паров, направляемых в факельные системы, определяют возможные их составы и параметры: температуру, давление, плотность, расход, продолжительность сброса, а также параметры суммарных сбросов с объекта максимального, среднего и минимального.

Методика расчета систем аварийного стравливания

С учетом законов истечения газа через отверстия и насадки общее время опорожнения аппарата $\tau_{\text{вып}}$ может быть выражено суммой времени выполнения операции по прекращению подачи продукта в аппарат и включение выпускной линии $\tau_{\text{оп}}$, времени выпуска газа в критическом режиме истечения $\tau_{\text{вып}}^{\text{кр}}$ (начало процесса) и времени выпуска газа в докритическом режиме истечения $\tau_{\text{вып}}^{\text{докр}}$ (конец процесса). Это суммарное время должно быть не более допустимой продолжительности аварийного выпуска $\tau_{\text{вып}}^{\text{доп}}$, т. е.

$$\tau_{\text{вып}} + \tau_{\text{оп}} + \tau_{\text{вып}}^{\text{кр}} + \tau_{\text{вып}}^{\text{докр}} < \tau_{\text{вып}}^{\text{доп}}. \quad (7.13)$$

Общее количество газа в аппарате составит

$$V_r = V_{\text{ан}} p_{\text{ан}} / p_0. \quad (7.14)$$

Критический режим истечения при аварийном выпуске газа сохраняется при снижении давления в аппарате от начального $p_{\text{ан}}$ до критического $p_{\text{кр}}$, после чего наступает докритический режим. Следовательно, объем газа, выходящего в докритическом режиме, будет равен

$$V_r^{\text{докр}} = V_{\text{ан}} p_{\text{кр}} / p_0. \quad (7.15)$$

В критическом режиме

$$V_r^{\text{кр}} = V_r - V_r^{\text{докр}} = V_{\text{ан}} (p_{\text{ан}} - p_{\text{кр}}) / p_0. \quad (7.16)$$

Так как давление в опорожняемом аппарате непрерывно изменяется, за расчетное приближенно можно принять среднее давление для соответствующего периода

$$\bar{p}_{\text{кр}} = (p_{\text{ан}} + p_{\text{кр}}) / 2; \quad (7.17)$$

$$\bar{p}_{\text{докр}} = (p_0 + p_{\text{кр}}) / 2. \quad (7.18)$$

При указанных допущениях время истечения газа определяется по формулам:

$$\tau_{\text{вып}}^{\text{кр}} = V_r^{\text{кр}} / \alpha f w_{\text{кр}}; \quad (7.19)$$

$$\tau_{\text{вып}}^{\text{докр}} = V_r^{\text{докр}} / \alpha f w_{\text{докр}}. \quad (7.20)$$

Критическое давление и скорости истечения газа определяются по формулам, приведенным в гл. 3 учебника [2].

Минимальная высота выброса (свечи), исходя из условия обеспечения эффективного рассеивания (максимальная приземная концентрация горючего газа не превышает **20 %** НКПР), определяется по формуле

$$h_{\min} = 1,75Md(V\varphi_n)^{-1}(\rho_r/\rho_a)^{0,5}, \quad (7.21)$$

где h_{\min} - минимальная высота выброса (свечи), м; M - массовый расход сбрасываемых газов, г/с; d — диаметр сбросного патрубка, м; V - объемный расход сбрасываемого газа при нормальном давлении, м³/с; φ_n - нижний концентрационный предел распространения пламени, г/м³; ρ_r, ρ_a - плотность сбрасываемого газа и окружающего воздуха, соответственно, кг/м³.

Величина приземной концентрации горючего газа на различных расстояниях от сбросной трубы определяется по формуле

$$\varphi_{\text{пр}} = 6Md(VX)^{-1}(\rho_r/\rho_a)^{0,5}e^{-0,3(100h/X)^2}, \quad (7.22)$$

где $\varphi_{\text{пр}}$ - приземная концентрация горючего газа, выбрасываемого из сбросной трубы, г/м³; X - горизонтальное расстояние от сбросного патрубка до места, в котором определяется концентрация, м; h - высота сбросного патрубка, м.

Величина максимальной приземной концентрации горючего газа определяется по формуле

$$\varphi_{\max} = 0,35Md(Vh)^{-1}(\rho_r/\rho_a)^{0,5}, \quad (7.23)$$

где φ_{\max} - максимальная приземная концентрация горючего газа, выбрасываемого из сбросной трубы, г/м³.

Расстояние X_{\max} м, на котором наблюдается максимальная приземная концентрация горючего газа, оценивается по формуле

$$X_{\max} \approx 10h. \quad (7.24)$$

Скорость выхода горючего газа из сбросного патрубка рекомендуется принимать 80 м/с. Опасной зоной считается окружность радиусом X_{\max} .

Для предупреждения образования в факельной системе взрывоопасной смеси предусматривают непрерывную подачу продувочного (топливного или инертного) газа в начало факельного коллектора. В случае прекращения подачи топливного газа должна быть обеспечена автоматическая подача инертного газа.

Содержание кислорода в продувочных и сбрасываемых газах и парах, в том числе сложного состава, не должно превышать 50 % минимального взрывоопасного содержания кислорода в возможной смеси с горючим. При сбросах водорода, ацетилен, этилена и окиси углерода и смесей этих быстрогорящих газов содержание кислорода в них должно составлять не более 2 % объемных. При этом запрещается направлять в факельную систему вещества, взаимодействие которых может привести к взрыву (например, окислитель и восстановитель).

В газах и парах, сбрасываемых в общую и отдельную факельные системы, не должно быть капельной жидкости и твердых частиц. Для их удаления устанавливаются сепараторы (см. рис. 7.5, 7.6).

Коллекторы и трубопроводы факельных систем оборудуются тепловой изоляцией и (или) на них должны быть установлены обогревающие спутники для предотвращения конденсации и кристаллизации веществ в факельных системах.

Факельные установки должны быть обеспечены первичными средствами пожаротушения в соответствии с требованиями ППБ 01-03.

Меры обеспечения пожарной безопасности систем аварийных выпусков

Факельную установку следует размещать с учетом розы ветров, минимальной длины факельных коллекторов (трубопроводов) преимущественно в местах, граничащих с ограждением предприятия.

Расстояния между факельным стволом и другими объектами предприятия определяют с учетом допустимой плотности теплового потока [5, 6] и требований противопожарных норм и правил. При этом материалы оборудования и сооружений, находящихся в зоне теплового воздействия, должны быть огнестойкими.

Конструкция факельной установки должна предусматривать наличие факельного ствола, оснащенного оголовком и газовым затвором, средств контроля и автоматизации, дистанционного электрозапального устройства, подводящих трубопроводов топливного газа и горючей смеси, дежурных горелок с запальниками. При необходимости факельная установка оснащается сепаратором, гидрозатвором, огнепреградителем (при сбросе ацетилена), насосами и устройством для отвода конденсата.

Контрольные вопросы

Перечислите основные причины быстрого распространения пожара в условиях производства.

Перечислите условия, способствующие распространению пожара на производстве.

Какие решения пожарной безопасности служат для предупреждения крупных пожаров?

Назовите основные направления по снижению количества горючих веществ на стадии проектирования.

Назовите решения по снижению количества горючих веществ при эксплуатации производства.

Назовите основные способы эвакуации горючих жидкостей.

Какие требования предъявляются к аварийным емкостям системы аварийного слива?

Назовите основное условие процесса эвакуации ГЖ из опасной зоны.

Укажите особенности устройства системы аварийного слива из переменного по высоте сечения аппарата.

Укажите особенности устройства системы аварийного слива из группы аппаратов.

Назовите основное отличие системы аварийного стравливания горючих паров и газов от системы аварийного слива горючих жидкостей.

В чем заключается пожарная опасность процесса срабатывания горючих паров и газов?

Для чего предназначена факельная система?

В каких случаях необходимо обустраивать на производстве факельные системы?

Назовите основное условие для определения минимальной высоты выброса (свечи).

Назовите основной опасный фактор пожара, определяющий расстояние между факельным стволом и другими объектами предприятия.

Назовите мероприятия по предупреждению образования взрывоопасной смеси в факельной системе.

Какие аппараты применяются в системах аварийных выпусков газов и паров для предотвращения попадания в них капельной жидкости и твердых частиц?

ЛИТЕРАТУРА

Пожарная безопасность технологических процессов: Рабочая программа. - М.: Академия ГПС МЧС России, 2003.

Алексеев М.В., Волков О.М., Шатров Н.Ф. Пожарная профилактика технологических процессов производств. - М: ВИПТШ МВД СССР, 1985.

СНиП 2.11.03-93 Склады нефти и нефтепродуктов. Противопожарные нормы.

ГОСТ Р 12.3.047-98 Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.

ПБ 09-12-92 Правила устройства и безопасной эксплуатации факельных систем.

ПБ 08-342-00 Правила безопасности при производстве, хранении и выдаче сжиженного природного газа на газораспределительных станциях магистральных газопроводов и автомобильных газонаполнительных компрессорных станциях.

Лекция 8

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА ПО ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ КОММУНИКАЦИЯМ

Взрывы в технологическом оборудовании очень часто приводят к последующим пожарам, и наоборот, - пожары часто сопровождаются взрывами. Применяя средства локализации пламени, можно предотвратить распространение огня по производственным коммуникациям, а также его проникновение внутрь оборудования и последующий взрыв в нем. Особенно

это актуально для предприятий, на территории которых размещены резервуары с нефтепродуктами или другими горючими жидкостями.

По производственным коммуникациям пожар распространяется в тех случаях, если:

1) внутри трубопроводов, воздухопроводов, траншей, туннелей или лотков образуется горючая концентрация;

2) появляется равномерно распределенная по длине горючая нагрузка в виде отложений различных веществ и материалов;

3) в системе заводской канализации на поверхности воды имеется слой горючей жидкости;

4) в системе находятся газы, газовые смеси или жидкости, способные разлагаться с воспламенением под воздействием высокой температуры или давления.

К производственным коммуникациям относятся системы для прокладки технологических трубопроводов (наземные трубопроводные эстакады, подземные туннели, траншеи), системы канализации, отдельные трубопроводы, воздухопроводы, лотки, каналы и т. п. Опасность распространения пламени по этим коммуникациям появляется тогда, когда в них:

- создаются условия для образования горючей газо-, паро-, пылевоз-душной концентрации;

- появляется равномерно распределенная по длине горючая нагрузка в виде твердых отложений или жидких пленок различных веществ и материалов;

- имеются газы, газовые смеси или жидкости, обладающие способностью разлагаться с воспламенением без доступа воздуха под воздействием высокой температуры или давления.

В этих случаях для предупреждения распространения пожара по производственным коммуникациям на практике используют два варианта. Выбор варианта зависит от вида образующейся в коммуникациях горючей среды.

Если горючая среда образуется в виде смеси транспортируемых веществ (газов, паров или пыли) с воздухом и, следовательно, возможно их кинетическое сгорание, то используют, как правило, огнепреграждающие устройства, которые свободно пропускают газопаровоздушный поток, но гасят пламя.

Если нет условий для образования горючей концентрации, а горючая среда образуется в виде горючих отложений, равномерно распределенных на внутренней поверхности коммуникаций, то использование вышеназванных устройств оказывается неэффективным. Дело в том, что постепенное накапливание отложений приводит к закупорке устройств и выведению из строя не только их, но и всей коммуникационной системы. С другой стороны, при диффузионном горении отложений высоконагретые продукты сгорания еще до подхода фронта пламени к защитным устройствам способны прогреть их до опасных температур, делая такую защиту неэффективной.

В этом случае используют различного типа заслонки, задвижки или поворотные клапаны с автоматическим или ручным приводом, которые при срабатывании полностью перекрывают «живое» сечение трубопровода,

прекращая тем самым не только распространение пламени по нему, но и движение смеси. Эффективность действия таких устройств зависит от своевременности их срабатывания, а также от плотности (герметичности) перекрытия сечения трубопровода, которая может нарушаться при несвоевременной их очистке от отложений.

Таким образом, оба названных варианта, используемых на практике для предупреждения распространения пожара по производственным коммуникациям, не являются идеальными. Они будут эффективно применяться только в том случае, если приняты меры по защите коммуникаций и самих устройств от горючих отложений. Поэтому предупреждение образования горючих отложений имеет большое профилактическое значение по двум причинам. Во-первых, при отсутствии отложений распространение пожара по ним становится невозможным. Во-вторых, при отсутствии отложений создаются благоприятные условия для эффективного применения устройств, используемых для защиты производственных коммуникаций от распространения пожара.

Предотвращение образования горючих отложений

Характеристика отложений и механизм их образования

Отложения, образующиеся в технологическом оборудовании, классифицируются по составу, агрегатному состоянию, структуре, механической прочности, смачиваемости, горючести, взрывоопасности и склонности к самовозгоранию [8]. Количественные и качественные характеристики этой классификации позволяют на практике разрабатывать эффективные меры борьбы с негативным проявлением образующихся отложений для обеспечения противопожарной защиты производственных коммуникаций.

В основу классификации положена идея о решающем влиянии в процессе образования отложений температуры среды на механизм переноса массы вещества из потока к стенке, на состав, агрегатное состояние и структуру отложений.

По составу *отложения, образующиеся в нагретой среде*, могут значительно отличаться от исходных веществ и материалов. Это отличие определяется в основном температурным режимом работы аппаратов, где образуются пароаэрозолегазовые смеси. При повышенных температурах образующаяся смесь до поступления в транспортную систему может содержать не только пары исходных веществ, но и продукты их термического пиролиза. Основной движущей силой массопередачи при образовании отложений в этом случае будет молекулярная диффузия паров, которая сопровождается фазовыми превращениями. В связи с этим отложения по молекулярной массе могут значительно отличаться от исходных компонентов смеси, так как состоят из более тяжелых продуктов термического пиролиза.

Таким образом, образование отложений в нагретой среде происходит в результате сложного теплообмена, когда парогазовая смесь при своем охлаждении по пути транспортирования в трубопроводах системы местных

отсосов (СМО) от места ее образования до выброса в атмосферу участвует в многократно повторяющихся процессах конденсации тяжелых паров и испарения легких фракций конденсата по аналогии с процессом ректификации.

По агрегатному состоянию отложения в нагретой среде на холодной стенке, с учетом сказанного, чаще образуются в виде жидкого конденсата, обладающего различной вязкостью: от подвижной (легкостекающей по стенке) жидкости до дегтеобразной быстротвердеющей при охлаждении массы.

По составу *отложения, образующиеся в ненагретой среде*, близки к исходным материалам, так как в этом случае движущей силой массопередачи при образовании отложений является турбулентная диффузия при отсутствии фазовых превращений. Такие отложения образуются, например, в окрасочном оборудовании. По составу они близки к исходным лакокрасочным материалам (ЛКМ) и отличаются от них меньшим содержанием растворителя.

В ненагретой газовой среде отложения первоначально могут быть жидкими (чаще высоковязкими) или твердыми, что в конечном счете будет зависеть от свойств и содержания в них жидкой фазы (например, остаточного растворителя).

Причины такого явления кроются в условиях образования и свойствах аэрозоля (красочного тумана), который в диспергированном состоянии в движущемся потоке воздуха обладает огромной удельной поверхностью испарения, что в турбулизированной среде обеспечивает быструю потерю летучих растворителей, слипание и затвердевание осевших частиц пигмента.

По структуре отложения в ненагретой среде первоначально могут быть монолитными (губчатыми), а затем под воздействием тех же процессов, что и в нагретой среде, приобретать пористую структуру. Дисперсные материалы (волокнистые, порошкообразные) при своем осаждении сразу образуют слой с пористой структурой. По механической прочности отложения, образующиеся в ненагретой среде, за исключением дисперсных, относятся к прочным отложениям.

Пожаровзрывоопасность горючих отложений, образующихся в производственных коммуникациях и меры профилактики

Разработка и внедрение безотходных технологий и установок по безвреживанию промышленных выбросов потребовали объединения большого количества ранее разрозненных технологических аппаратов с помощью коммуникаций в единое целое. Однако при наличии развитой системы коммуникаций (трубопроводов, воздухопроводов) даже при нормальной эксплуатации технологического оборудования создаются условия для образования в них горючих отложений, распределенных по всей их длине, которые при определенных условиях склонны к самовозгоранию и способствуют быстрому скрытому развитию пожара по системе коммуникаций на смежное технологическое оборудование и строительные конструкции производственных зданий.

Такая опасность характерна для производств, где широко применяются технологические процессы пропитки, окраски, вулканизации, рекуперации, закалки, пайки, лужения и др.

В связи с этим возникает проблема обеспечения пожарной безопасности таких коммуникаций и, в частности, воздуховодов систем местных отсосов.

По мере роста толщины слоя отложений в транспортных воздуховодах в хронологическом порядке одно за другим создаются условия для:

воспламенения **горючего** слоя при появлении источника зажигания;

образования горючей концентрации при наличии летучих компонентов в массе отложения;

распространения пламени по поверхности отложений в случае их воспламенения;

самовозгорания отложений.

Установлено [8], что каждая из этих опасностей характеризуется своей по величине критической толщиной слоя отложений.

Критическая толщина слоя по воспламеняющей способности мало зависит от свойств горючих отложений и в основном определяется тепловой мощностью источника зажигания. Например, жидкий слой нефти на металлической подложке при локальном действии на него пламени газовой горелки способен воспламениться при толщине не более 0,2 мм [9]. Слой отложений ЛКМ, при котором происходит его воспламенение, составляет от 0,08 до 0,1 мм [8].

В практическом плане эта толщина не является определяющей для оценки пожарной опасности технологического оборудования с горючими отложениями, так как по величине она может составлять десятые и даже сотые доли миллиметра, поэтому после кратковременной локальной вспышки (мгновенного выгорания образующейся в пограничном слое горючей парогазовоздушной смеси) в дальнейшем распространение пламени по слою не происходит. При длительном воздействии точечного источника зажигания наблюдается дальнейший беспламенный пиролиз нелетучей части слоя отложений в месте контакта с источником зажигания.

Образование горючей концентрации при наличии летучих компонентов в массе отложения. Содержание остаточного растворителя в отложениях ЛКМ по пути движения загрязненного воздушного потока в процессах окраски колеблется в широких пределах: от 100 (на экране и в гидрофилтре) до 20 % (в удаленных участках воздуховодов) от исходного содержания растворителя в ЛКМ. Поэтому горючие отложения, образующиеся в транспортных воздуховодах СМО, даже при незначительной толщине слоя (0,5-0,8 мм) представляют реальную опасность образования горючей концентрации в замкнутом объеме при полном отсутствии воздухообмена с окружающей средой. Ясно, что для предупреждения этой опасности на практике вне рабочее время нецелесообразно предусматривать полную герметизацию воздуховодов СМО с помощью различных регулировочных шиберов и заслонок.

Критическая толщина слоя, исходя из опасности распространения пламени по поверхности отложений при возникновении горения от внешнего источника зажигания, также характеризуется малой величиной. Так, для отложений различных лакокрасочных материалов (ЛКМ) она составляет: МЛ 12 - 1,7 мм; МЧ 123 - 1,1 мм; ПЭ 246 - 1,2 мм; МС 17 - 0,9 мм; НЦ 216 - 1,5 мм; КО 935 - 1,3 мм; АС 182 - 1,3 мм. Поэтому профилактика опасности распространения пожара при таких значениях толщины слоя отложений сводится к предупреждению появления внешнего источника зажигания.

Критическая толщина отложений по опасности самовозгорания зависит от многих факторов и для различных веществ и материалов колеблется от 15 до 25 мм.

Таким образом, пожарная опасность отложений связана с их горючестью. Они легко могут воспламеняться от внешнего источника зажигания, способствуют образованию взрывоопасных концентраций, являются характерными путями для распространения пламени, обладают склонностью к самовозгоранию. Кроме того, они часто выводят из строя или снижают эффективность работы защитных устройств (огнепреградители, огнепреграждающие задвижки, взрывные мембраны, предохранительные клапаны и др.) и, наконец, приводят к нарушению нормального режима работы технологических аппаратов. Так, постепенное накапливание отложений в воздуховодах СМО окрасочного или сушильного оборудования приводит к снижению количества отсасываемых из аппаратов паров огнеопасных растворителей за счет уменьшения «живого» сечения воздуховодов. Вследствие этого происходит рост их концентрации до опасных пределов в окрасочных и сушильных камерах, а затем и в самих воздуховодах.

Главное направление в обеспечении пожаровзрывобезопасности транспортных коммуникаций с горючими отложениями связано с предупреждением образования отложений. Однако на практике это сделать, по существу, невозможно. Поэтому идут по пути снижения интенсивности образования отложений в сочетании с периодической очисткой технологического оборудования.

Однако при этом возникают проблемы, связанные с определением допустимой по условиям пожарной безопасности продолжительности эксплуатации технологического оборудования до очередной очистки и созданием эффективных пожаробезопасных способов очистки. Перспективными в этом плане являются также мероприятия, осуществляемые между чистками, по снижению интенсивности образования отложений с помощью улавливающих устройств и предупреждению накапливания отложений путем отвода жидкой фазы, образующейся при конденсации паров.

Принимая меры по снижению интенсивности образования отложений, при определении сроков пожаробезопасной эксплуатации транспортных коммуникаций между чистками рассматривают все возможные факторы пожаровзрывоопасности, которые могут проявиться в процессе роста слоя

отложений. А затем из этих факторов выбирают такой, который не может быть устранен другими мерами без проведения самой очистки.

Из приведенного выше анализа видно, что по сравнению с другими опасными факторами, критическая толщина слоя горючих отложений по условиям самовозгорания имеет большую величину. Кроме того, эту опасность можно устранить только путем организации своевременной очистки транспортных коммуникаций. Поэтому при обосновании сроков очистки в качестве основы рассматривают критические условия самовозгорания отложений.

Критические условия самовозгорания отложений для транспортных коммуникаций можно представить в виде развернутого уравнения теплового баланса, левая часть которого характеризует тепловыделения в зоне реакции, а правая - теплоотвод в окружающую среду:

$$E C \exp(1 - E / R T_0) / R T_0^2 \geq K_f \lambda / C_p \rho h_{кр}^2 \quad (8.1)$$

где K_f - коэффициент формы слоя; λ - теплопроводность отложений, (Вт/м*К); T_0 - минимальная для окружающей среды температура самовозгорания, К; R - универсальная газовая постоянная, Дж/(моль*К); E - эффективная энергия активации, кДж/моль; C - предэкспоненциальный множитель, К/с; C_p - удельная теплоемкость, Дж/(кг*К); ρ - плотность слоя отложений, кг/м³.

Тогда критическая толщина слоя отложений будет равна

$$h_{кр} = \sqrt{K_f \lambda T_0^2 R / E C \exp(1 - E / R T_0) C_p \rho} \quad (8.2)$$

Время образования критического слоя отложений $\tau_{обр}$ равно

$$\tau_{обр} = h_{кр} / \omega_{отл} \quad (8.3)$$

где $\omega_{отл}$ - скорость образования отложений, м/с,

$$\omega_{отл} = J_{max} / \rho, \quad (8.4)$$

где J_{max} - интенсивность образования отложений, кг/м с.

Максимальную интенсивность образования отложений в воздуховодах СМО от окрасочных камер можно определить по уравнению

$$J_{max} = C_n \text{Re}^{1,13} \nu / ZL, \quad (8.5)$$

где C_n - максимальная концентрация аэрозоля в начальном участке воздуховода, кг/м³; ν - кинематический коэффициент вязкости воздуха, м /с; Z - эмпирический коэффициент, равный 0,012; L - протяженность воздуховода, м.

Важной характеристикой процесса самовозгорания является адиабатический период индукции $\tau_{инд}$, который представляет собой время саморазогрева реагирующей среды до критической температуры. Вычисление адиабатического периода индукции производится по формуле

$$\tau_{инд} = (R T_0^2 / E C) \exp(E / R T_0). \quad (8.6)$$

Тогда пожаробезопасный период эксплуатации транспортных воздуховодов СМО (на примере окрасочных камер) можно определить по соотношению

$$\tau_{об} = \tau_{обр} + \tau_{инд}. \quad (8.7)$$

Для реализации модели, приведенной выше, разрабатываются программы, с помощью которых получают необходимые расчетные параметры для построения **номограмм**, позволяющих определять пожаробезопасные условия эксплуатации транспортных коммуникаций с горючими отложениями и обосновывать сроки их очистки. Пример такой номограммы приведен на рис. 8.1.

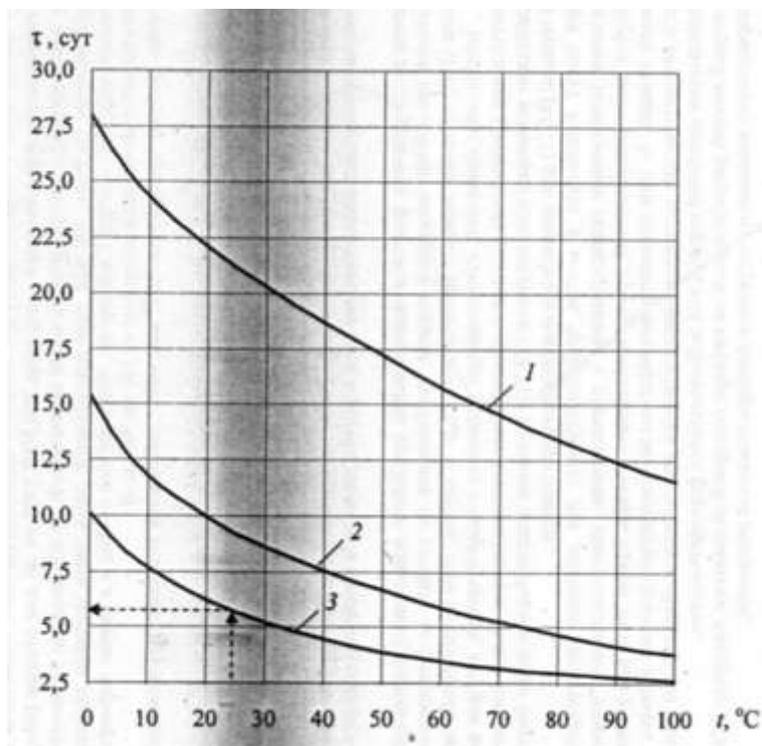


Рис. 8.1. Номограмма для определения периодичности очистки окрасочного оборудования при использовании эмали МС-17: 1 - воздухопровод; 2 - жалюзийные сепараторы-каплеуловители; 3 - гидрофильтр; <----- - ключ к использованию номограммы; t - температура окружающей среды, °C; τ - продолжительность периода пожаробезопасной эксплуатации между чистками

Чтобы снизить интенсивность загрязнения поверхности воздухопроводов горючими отложениями, применяют различные способы улавливания увлекаемых воздухом твердых и жидких частиц, предупреждают возможность конденсации и кристаллизации транспортируемых паров на поверхности труб, осуществляют очистку поверхности от горючих отложений. Очистку воздуха от увлекаемой горючей пыли, пуха и других твердых отходов производства и побочных продуктов осуществляют обычно инерционными улавливателями, циклонами и фильтрами. Для улучшения эффективности улавливания твердых частичек из воздуха к инерционным улавливателям и циклонам в некоторых случаях подводят воду.

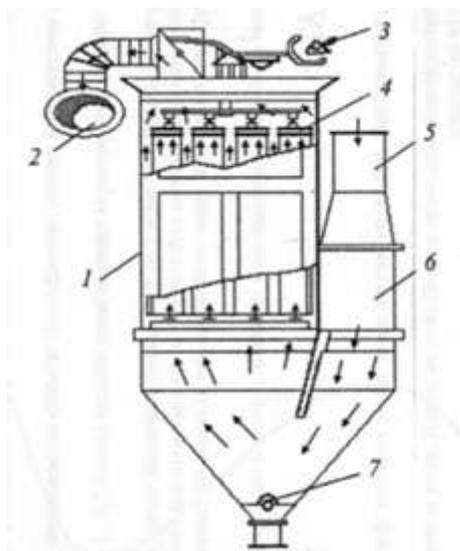


Рис. 8.2. Рукавный всасывающий фильтр: 1 - корпус; 2 - трубопровод для выхода очищенного воздуха; 3 – встряхивающий механизм; 4 - рукава; 5 - трубопровод для входа запыленного воздуха; 6 – приемная коробка; 7 – шнек для выгрузки пыли

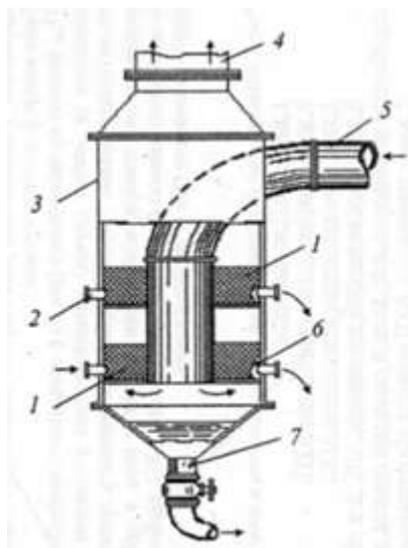


Рис. 8.3. Пенный промыватель: 1 - решетки; 2 — штуцер для подачи воды в аппарат; 3 - корпус; 4 - трубопровод для выхода очищенного воздуха; 5 - трубопровод для входа запыленного воздуха; 6 - слив избытка воды; 7 - труба для удаления шлама

В масляных фильтрах пыль улавливается при проходе воздуха через движущуюся металлическую сетку, смоченную в масле. Эффективность масляных фильтров составляет 70-85 %. Загрязненная металлическая сетка проходит через бак с маслом, очищается от пыли и смачивается им. Рукавные фильтры (рис. 8.2) высокоэффективны. Они улавливают до 95-99 % пыли. Непрерывность их действия обеспечивается встряхиванием рукавов с одновременной обратной продувкой ткани воздухом.

Рукавная ткань может быть обработана огнезащитными составами. Для отвода зарядов статического электричества в ткань вплетают эластичные металлические нити, которые соединяют с заземляющим устройством.

В пенных промывателях (рис. 8.3) запыленный газ проходит через слой воды, вызывая образование пены и тонких водяных пленок, способствующих улавливанию твердых частичек. Эффективность их действия доходит до 85-92 %.

Чтобы уменьшить возможность отложения твердых горючих частичек на участках труб до места установки циклонов или фильтров, трубопроводы делают круглого сечения с гладкой поверхностью, плавными поворотами без резких изменений диаметров. Скорость движения воздуха принимают такой, чтобы твердые частицы все время находились во взвешенном состоянии. Газо- и воздухопроводы, где наблюдаются отложения масляного конденсата, периодически промывают 5%-ным раствором каустической соды. После выпуска раствора трубопровод тщательно промывают водой под давлением и просушивают. Так как промывка каустической содой не исключает возможности коррозии металла и небезопасна для обслуживающего персонала, целесообразно использовать для этой цели 3%-ный раствор сульфанола.

Отложение конденсата и кристаллов происходит в том случае, когда улавливают нагретые пары, которые в воздуховодах охлаждаются, или когда паровоздушная смесь из производственных помещений транспортируется в зимнее время по наружным воздуховодам. Во избежание этого наружные воздухопроводы и воздуховоды, проходящие по неотопливаемым помещениям, защищают негорючей теплоизоляцией. В некоторых случаях паровоздушную смесь подогревают с таким расчетом, чтобы в процессе транспортировки температура ее не снижалась до точки росы.

Очистку воздуха окрасочных камер от частичек краски производят гидрофильтрами, представляющими собой одну или несколько последовательно расположенных водяных завес, сквозь которые просасывается загрязненный воздух. Схема традиционной окрасочной камеры, оборудованной гидрофильтром с S-образным промывным каналом, показана на рис. 8.4.

В некоторых случаях для очистки воздуха от частичек краски применяют устройства в виде жалюзийных решеток, отбойных стенок и т. п. Проходя через подобного рода препятствия, воздух неоднократно изменяет направление движения и частички краски, ударяясь о стенки или решетки, прилипают к их поверхности. Однако такие механические устройства менее эффективны по сравнению с гидрофильтрами.

Процесс очистки технологического оборудования является весьма трудоемким, а иногда и пожароопасным, если для этого применяются ручные способы с использованием инструментов ударного действия или огнеопасные растворители.

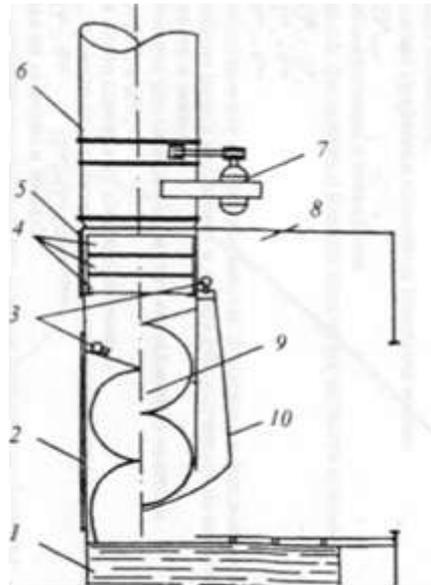


Рис. 8.4. Схема окрасочной камеры, оборудованной гидрофильтром с 8-образным промывным каналом: 1 - водоотстойная ванна; 2 - люк для очистки канала фильтра; 3 - водоподающие трубы; 4 - фильтрующие кассеты; 5 - люк для замены сепараторов; 6 - воздуховод СМО; 7 - вентилятор; 8 - камера; 9 - S-образный промывной канал; 10 - водяной экран

Практика показывает, что наибольшие сложности возникают при очистке труднодоступного технологического оборудования и, в частности, воздуховодов СМО, по которым удаляются парозерозолевоздушные смеси от мест их образования в технологическом процессе производства.

Для удобства очистки воздуховоды делают легкоразборными (отдельные звенья соединяют между собой на фланцах с обычными или откидными болтами) или устраивают люки на расстоянии 4-5 м друг от друга.

В последние годы внедряются механизированные методы очистки воздуховодов с использованием переносных пароэмульсионных эжекторов, обеспечивающих струйную подачу моющего средства непосредственно в очищаемый воздуховод без его демонтажа. Пожаробезопасность этого метода обеспечивается применением негорючих водных растворов технических моющих составов (ТМС), флегматизацией объема воздуховода водяным паром, увлажнением отложений и применением водяных струй для механического удаления отслаивающихся отложений.

Для удаления особо прочных отложений применяется пожаробезопасный метод защиты воздуховодов систем местных отсосов окрасочного и сушильного оборудования от налипания аэрозольных частиц с помощью эластичного рукава.

Перед началом эксплуатации окрасочного оборудования во внутреннюю полость воздуховодов 1 и 7 (рис. 8.5) вводится защитное покрытие в виде мягкого (эластичного) рукава 2 из термостойкой комбинированной синтетической ткани. Рукав удерживается во внутренней полости воздуховода путем крепления по торцам с помощью хомутов 4.

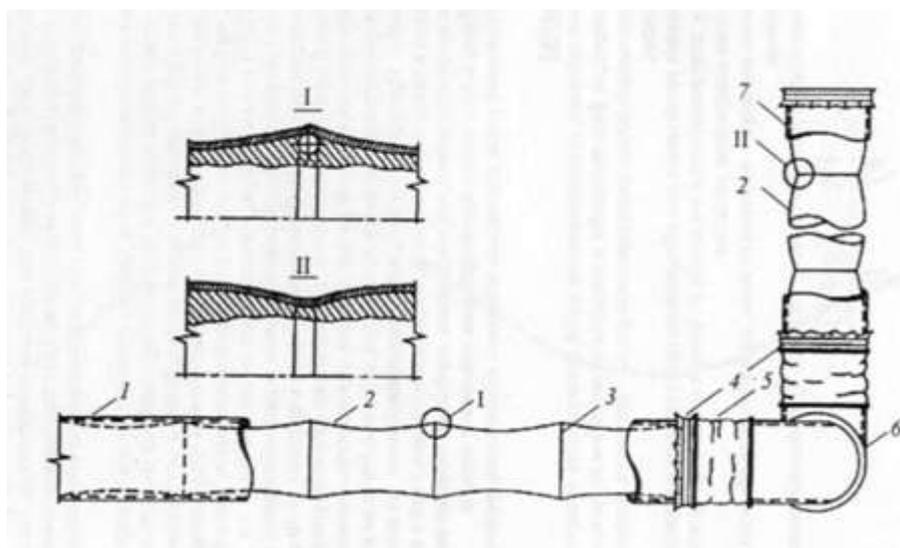


Рис. 8.5. Пожаробезопасный способ очистки воздуховодов от отложений ЛКМ с использованием эластичных рукавов: 1, 7 - воздуховоды; 2 - рукав переменной сечения из термостойкой эластичной ткани; 3 - ребра жесткости; 4 - хомуты; 5 - мягкая вставка; 6 - вентилятор; узел I и узел II -ребра жесткости для рукавов во всасывающей и нагнетательной части воздуховодов,соответственно

При использовании рукава обеспечивается защита рабочего колеса вентилятора от налипания аэрозольных частиц и сокращаются выбросы вредных веществ в атмосферу на 30-35 %.

По окончании эксплуатации загрязненные рукава удаляют путем извлечения из полости воздуховодов, очищают от загрязнений в растворе ТМС, отмытые загрязнения утилизируют, а рукав используют повторно.

Защита производственных коммуникаций от распространения пожара

Для предотвращения распространения пламени из аварийного оборудования в смежные с ним, а также проскока пламени через сбросные и дыхательные клапаны в емкости с горючими веществами необходимо предусматривать устройства огнепреграждения. К таким устройствам относятся различного рода огнепреградители (сухие и жидкостные), затворы из твердых сыпучих материалов, быстродействующие плаиеотсекатели, огнепреграждающие задвижки (заслонки, шиберы).

Сухие огнепреградители. Определение критического диаметра канала

Сухими огнепреградителями защищают газовые и паровоздушные линии, в которых по условиям технологии или при нарушении нормального режима работы могут образоваться горючие концентрации.

Действие сухих огнепреградителей основано на гашении пламени в узких каналах, через которые свободно проходит горючая смесь, а пламя, разделенное на множество потоков, распространяться не может.

Согласно теории пределов распространения пламени, гашение его в узких каналах обусловлено тепловыми потерями из зоны реакции к стенкам канала. Если передача тепла из фронта пламени в исходную смесь является основным

процессом, способствующим распространению пламени по холодной смеси, то передача тепла из зоны реакции к стенкам канала и отвод тепла в охлаждающиеся продукты сгорания являются процессами, тормозящими распространение пламени. В узких каналах потери тепла вызывают понижение температуры горения в зоне реакции, растяжение этой зоны, увеличение времени протекания реакции и уменьшение скорости распространения пламени. При уменьшении диаметра канала увеличивается его поверхность на единицу массы реагирующей смеси, т. е. возрастают потери тепла из зоны реакции на единицу массы смеси. Когда эти потери достигают некоторой критической величины, скорость реакции в пламени настолько уменьшается, что дальнейшее его распространение становится невозможным. Именно такие условия и создаются в сухих огнепреградителях.

Диаметр корпуса огнепреградителя для уменьшения гидравлического сопротивления имеет увеличенный размер по сравнению с диаметром защищаемого трубопровода. Для надежного соединения корпуса огнепреградителя с трубопроводом по обеим его сторонам расположены фланцы, диаметр которых соответствует диаметру защищаемого трубопровода.

По устройству огнепреградители разделяются на *ленточные, пластинчатые, сетчатые, с насадкой из гранулированного материала, с насадкой из пористого материала, из металлокерамики и металловолокна.*

По условиям локализации пламени огнепреградители можно разделить на *взрывостойкие, огнестойкие, стойкие к разгрузке давления и нагретых продуктов сгорания, детонационностойкие.*

По месту установки на оборудовании различают *сбросные огнепреградители* (на трубах для выброса горючих газов в атмосферу или на факел); *коммуникационные огнепреградители* (на межаппаратурных и межцеховых коммуникациях) и *огнепреградители, устанавливаемые перед горелками.*

На рис. 8.6 показаны схемы огнепреградителей с различными типами огнепреграждающих насадок.

В сетчатых огнепреградителях используют медные, латунные и стальные фильтровальные сетки. Для надежного гашения пламени применяют не одну, а несколько сеток, последовательно установленных на расстоянии примерно 10 мм друг от друга.

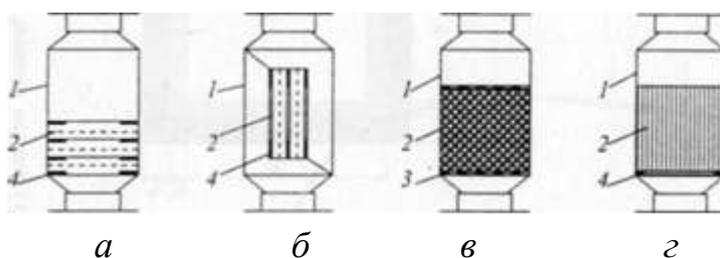


Рис. 8.6. Схемы основных видов огнепреградителей: А - с горизонтальными сетками; б - с вертикальными сетками; в - с гравием (шариками, кольцами); г - со спирально свернутыми вместе гофрированной и плоской лентами; 1 - корпус; 2 - пламегасящая насадка; 3 - решетка; 4 - опорные кольца

Насадки из гранулированных тел (шариков, колец, гравия и т. п.) или волокон (стеклянной ваты, асбестовых волокон и т. п.) образуют каналы криволинейной формы.

Для защиты дыхательных труб резервуаров с ЛВЖ используют кассетные огнепреградители. Кассета изготавливается путем одновременного свивания гладкой и гофрированной лент, благодаря чему образуются каналы треугольной формы.

Для горючих смесей, имеющих большую скорость горения (например, для смесей ацетилена, этилена или водорода с воздухом), а также для смесей горючих веществ с кислородом применяют насадки из стеклянных или фарфоровых шариков диаметром не более 1 мм, а также из металлокерамических пластин или трубок.

Гашение пламени в узких каналах, как уже отмечалось, имеет тепловую природу. Пламя теряет способность распространяться, когда температура газа в области фронта пламени понижается ниже некоторой критической величины. Отвод тепла от газа в узком канале обеспечивается теплопроводностью газа. Выделение же тепла во фронте пламени определяется скоростью и кинетикой химической реакции горения. Интегральной характеристикой процесса горения является нормальная скорость распространения фронта пламени. В качестве универсальной безразмерной характеристики соотношения динамики этих двух процессов - процессов выделения и отвода тепла - принято использовать критерий Пекле:

$$Pe = udc_p p / RT_0, \quad (8.8)$$

где u - нормальная скорость распространения пламени; d - диаметр канала огнепреграждающего элемента; c_p — теплоемкость горючей смеси при постоянном давлении; p - давление горючей смеси; R - универсальная газовая постоянная; T_0 - начальная температура горючей смеси; λ - теплопроводность горючей смеси.

Многочисленными экспериментами установлено, что на пределе гашения пламени в узких каналах критерий Пекле принимает постоянное значение, приблизительно равное 65. Если условия в пламегасящих каналах огнепреградителя характеризуются критерием Пекле $Pe \geq 65$, то огнепреградитель неэффективен, и наоборот, если $Pe \leq 65$, то огнепреградитель сработает удовлетворительно, т. е. не пропустит пламя.

Условие постоянства критерия Пекле, составленного из нормальной скорости пламени и теплофизических параметров горючей смеси (а не продуктов сгорания, например) на пределе гашения пламени в узких каналах, теоретически получено, исходя из ряда допущений и упрощений, поэтому оно в принципе является приближенным. Экспериментальная проверка этого принципа тоже дает весьма существенный разброс количественных результатов. Поэтому, используя это условие в качестве научной основы методики расчета эффективности сухих огнепреградителей, в расчетные формулы вводят коэффициент запаса, равный 2, т. е. безопасное значение критерия Пекле принимается равным 32,5.

Фактический диаметр канала огнепреграждающего элемента для сбросных огнепреградителей определяется выражением

$$d \leq 32,5 RT_k / uc_{p.p.} \quad (8.9)$$

Пламегасящую способность огнепреградителя следует рассчитывать по каналу максимальных поперечных размеров, поскольку пламя в первую очередь пройдет именно по этому каналу. Если пламегасящим элементом служит кассета из плоской и гофрированной лент, то за диаметр канала следует принимать высоту, опущенную из вершины треугольного гофра на плоскую ленту. Диаметр канала в насадке из одинаковых шариков можно принимать в зависимости от диаметра шариков следующим образом (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Диаметр шарика, мм	Диаметр канала, мм	Диаметр шарика, мм	Диаметр канала, мм
2	1,0	7	4,0
3	2,0	8	5,0
4	2,5	9	6,3
5	3,0	15	10,0
6	3,6		

Для огнепреградителей с насадками из гранулированных материалов и беспорядочно засыпанных колец Рашига необходимо принимать меры, исключая вредное влияние так называемого «краевого эффекта»: вследствие хаотического размещения гранул вблизи стенок корпуса возможно образование каналов больше среднего размера, особенно если размер гранул соизмерим с поперечным размером корпуса. Вероятность проскока пламени через насадку вследствие «краевого эффекта» снижается с уменьшением отношения размера гранул или диаметра канала к поперечному размеру корпуса и к высоте слоя насадки. В связи с этим рекомендуется, чтобы поперечный размер корпуса огнепреградителя превышал размер одной гранулы не менее чем в 20 раз, а высота слоя насадки превышала диаметр ее канала не менее чем в 100 раз.

Условие постоянства критерия Пекле на пределе гашения пламени в узких каналах лежит в основе не только эффективности локализации движущегося фронта пламени, но и огнестойкости огнепреградителя, т. е. его способности противостоять длительному воздействию стационарного пламени на насадке. Считается, что огнепреградитель «прогорает» не в результате прогрева насадки с противоположной стороны до температуры воспламенения горючей смеси, а в результате изменения условий (в частности, температуры) в каналах

пламегасящего элемента, и прохождение пламени по ним по-прежнему зависит от величины критерия Пекле.

Основная расчетная формула (8.8) относится только к сбросным, или так называемым резервуарным, огнепреградителям, работа которых не осложняется прохождением горячих продуктов сгорания через огнепреграждающий элемент, как это возможно в огнепреградителях, устанавливаемых на межаппаратурных и межцеховых коммуникациях. Для этих случаев приведенная методика расчета непригодна, хотя установлено, что если пламя движется по трубопроводу со скоростью больше нормальной, то на пределе его гашения в коммуникационном огнепреградителе тоже выполняется условие постоянства критерия Пекле, только при его расчете необходимо пользоваться не нормальной скоростью пламени, а фактической.

Жидкостные огнепреградители (гидравлические затворы), особенности использования на газовых и жидкостных линиях

Жидкостные огнепреградители (гидрозатворы) применяют в основном для защиты ацетиленовых генераторов от взрывов при газоплазменной обработке металлов, а также в производстве ацетилена. Локализация пламени ацетиленовоздушной, а особенно ацетиленокислородной смеси с использованием сухих огнепреградителей представляет большие технические трудности, и в то же время эта задача относительно просто решается при применении гидрозатворов. Простота конструкции и высокая надежность гидрозатворов позволяет эффективно использовать их для защиты и другого оборудования, содержащего взрывоопасные газы, в том числе способные образовать бысфогорящие смеси.

Принцип действия гидрозатвора состоит в разделении сплошного газового потока на серию газовых пузырьков в жидкости, через которую пламя распространяться не может. Вследствие недостаточной изученности процесса распространения пламени через цепь газовых пузырьков, а также условий воспламенения при адиабатическом сжатии пузырьков горючей смеси в жидкости до настоящего времени еще не разработаны достаточно надежные методы расчета гидрозатворов, поэтому эффективность задержания пламени должна определяться из опыта. Различают гидрозатворы *открытого типа*, пространство над поверхностью запирающей жидкости которых сообщается с атмосферой, и *закрытого типа*, предназначенные для работы под избыточным давлением.

Принципиальная схема гидравлического затвора на газовой линии низкого давления показана на рис. 8.7. Горящая смесь, проходя через слой жидкости (чаще всего воду), интенсивно охлаждается, пламя гаснет.

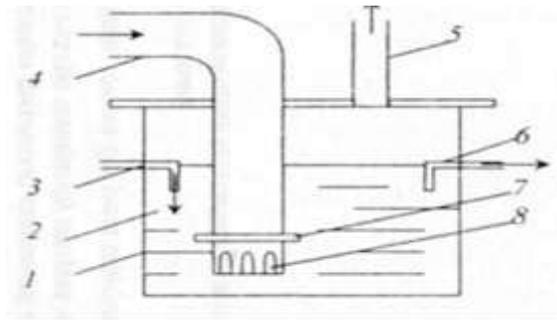
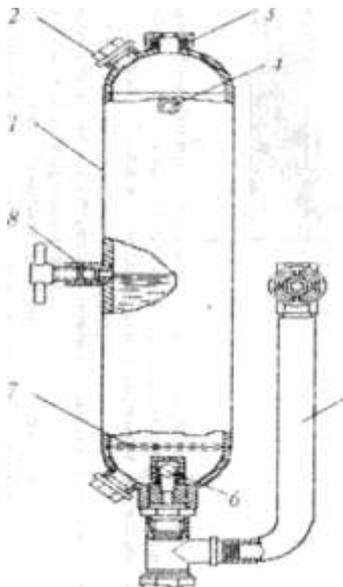


Рис. 8.7. Схема гидрозатвора на газовой линии: 1 - корпус; 2 - вода; 3 - линия подачи воды; 4 - подводящая труба; 5 - отводящая труба; 6 - линия удаления избытка воды; 7 - диск; 8 - прорези

На линиях высокого давления используют гидравлические затворы со сравнительно невысоким слоем запорной жидкости, но оборудованные (в отличие от гидрозатворов низкого давления) обратным и мембранным предохранительными клапанами (рис. 8.8).



*Рис.8.8 Гидравлический затвор на газовой линии высокого давления:
1 – корпус; 2 – отверстие для заливки воды; 3 - мембранный предохранительный клапан; 4 – расходная труба; 5 – труба, подводящая газ; 6 – обратный клапан; 7 – газораспределительные сетки; 8 – пробный кран.*

Когда затвор не работает, обратный клапан закрывает подводящую линию, препятствуя попаданию в нее запорной жидкости. При работе клапан открывается, и газ, барботируя через слой жидкости, направляется к потребителю.

При работе в зимнее время гидрозатворы следует размещать в отапливаемых помещениях, а если это невозможно сделать, следует использовать в качестве запорной жидкости, например, раствор этиленгликоля или глицерина в воде.

Как уже отмечалось, теории локализации пламени гидрозатворами не существует. Однако достоверно известно, что эффективность их работы

тем выше, чем мельче газовые пузырьки при всех прочих равных условиях. Поэтому почти все гидрозатворы конструируют таким образом, чтобы предельно уменьшить размер газовых пузырьков. Для получения пузырьков, значительно более мелких, чем позволяют получить все описанные устройства, предложено в жидкость добавлять диспергированный парамагнетик и воздействовать на него переменным магнитным полем. Взвешенные и жидкости частицы парамагнетика в переменном магнитном поле приходят в интенсивное движение, воздействуют на пузырьки и дробят их. Изменяя концентрацию частиц и параметры магнитного поля, можно в больших пределах изменять размер пузырьков.

К гидрозатворам любых типов предъявляют следующие основные требования:

- затвор должен надежно задерживать распространение взрывной волны, обеспечивая при этом полное перекрытие газоподводящей линии. Для повышения надежности гидрозатвора необходимо исключить возможность образования сплошных газовых потоков, по которым пламя может проникнуть в газоподводящую линию;

- унос жидкости в виде брызг при нормальной работе должен быть минимальным, так как при снижении уровня жидкости эффективность гидрозатвора резко снижается. При газопламенной обработке металла попадание воды в шланги и горелку приводит, кроме того, к перебоям в подаче газа и ухудшает тепловые и восстановительные свойства пламени. В любом случае, даже при полном улавливании брызг, газы, проходящие через гидрозатвор, увлажняются, и с этим постоянно необходимо считаться;

- гидрозатвор должен иметь систему поддержания постоянного уровня жидкости в нем. В противном случае уровень жидкости должен постоянно контролироваться и поддерживаться в процессе обслуживания;

- гидравлическое сопротивление затворов должно быть минимальным для снижения затрат энергии на транспортирование газа;

- если гидрозатвор при срабатывании не обеспечивает достаточно продолжительного прекращения подачи газа, то на поверхности жидкости может возникнуть постоянный очаг пламени, который, как и в случае сухих огнепреградителей, может привести к проскоку пламени. Возможность стабилизации горения на поверхности жидкости гидрозатвора должна быть исключена.

Быстродействующие пламеотсекатели

Локализовать взрыв, т. е. не допустить распространения пламени по технологическим коммуникациям, можно также *быстродействующими отсекающими устройствами*, срабатывающими от специальных высокочувствительных датчиков, реагирующих на пламя или давление взрыва.

Основное требование, предъявляемое к *пламеотсекателям*, - быстрое действие. Общепромышленная запорная трубопроводная арматура с пневмоприводом и с электродвигателями для этих целей непригодна из-за инерционности.

Быстродействующие пламеотсекатели наиболее удобно классифицировать по типу привода. В соответствии с такой классификацией можно выделить:

отсекатели прямого действия, которые срабатывают под действием самого давления взрыва в технологическом трубопроводе (взрыв сам себя запирает);

отсекатели с принудительным приводом, срабатывающие по сигналу, формируемому специальным индикатором взрыва, реагирующим на пламя или давление.

Отсекатели с принудительным приводом запорного органа обычно оснащены отдельным источником энергии и спусковым устройством, чаще всего в виде пиропатронов и электродетонаторов. В зарубежной практике, например, известно применение быстродействующих отсекателей с поворотной заслонкой. В рабочем состоянии заслонка открыта, а при срабатывании электродетонатора освобождается защелка, сдерживающая скрученную пружину, которая быстро поворачивает заслонку в закрытое положение. Применяют также поворотные клапаны с приводом от энергии падающего груза, который удерживается на защелке и освобождается при включении электромагнита. Однако быстродействие таких клапанов относительно невелико. Значительно большим быстродействием обладают *отсекатели с пиропроводом*, запирающие которых осуществляется под действием энергии сгорания специальной пороховой навески.

Типичная схема пламеотсекателя прямого действия, применяемого в качестве самостоятельного средства локализации пламени в технологическом трубопроводе, показана на рис. 8.9.

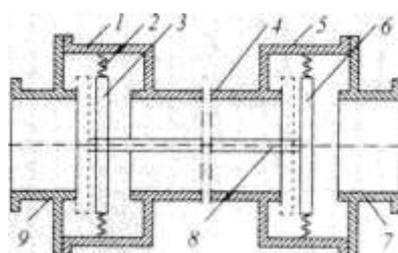


Рис. 8.9. Пластинчатый автоматический затвор:

1,3 - камеры; 2 - пружина; 3,6 - запорные пластины; 4 - труба; 7,9 - патрубки; 8 - штанга

Радиальные пружины натянуты таким образом, чтобы обеспечивать достаточную пропускную способность затвора при нормальном истечении потока технологической среды. При аварийной ситуации поток (в зависимости от направления движения) воздействует на одну из пластин, перемещается запорный орган, другая пластина замыкается с седлом патрубка, полностью перекрывая поток.

Для создания пробки из сыпучего материала на валу винта шнекового дозатора снимают несколько витков в непосредственной близости от выгрузочного патрубка, а непосредственно за патрубком витки винта имеют обратную направленность. Такая конструкция обеспечивает образование пробки в корпусе шнека даже при полном прекращении подачи материала.

Затворы из измельченных материалов

Затворы из измельченных материалов применяются для защиты коммуникаций, в которых возможно распространение пламени по поверхности сыпучего материала. К таким коммуникациям относятся системы транспорта измельченных материалов (самотечные трубы, шнеки и т. п.). Для создания сплошного по всему проходному сечению трубопровода затвора в виде пробки из транспортируемого измельченного материала применяются различные устройства, например, *шнековые питатели* аппаратов (рис. 8.10), механизированные *дозаторы* системы подачи топлива на сжигание (рис. 8.11) и т. п., которые устанавливаются в конце транспортной системы на самотечной линии бункера циклона.

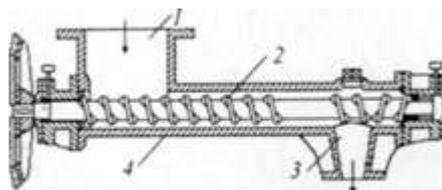


Рис. 8.10. Шнековый затвор на линии транспортировки материалов: 1 - загрузочная воронка; 2 - бесконечный винт; 3 - патрубок для отводящей трубы; 4 - корпус

Для создания пробки из сыпучего материала на валу винта шнекового дозатора снимают несколько витков в непосредственной близости от выгрузочного патрубка, а непосредственно за патрубком витки винта имеют обратную направленность. Такая конструкция обеспечивает образование пробки в корпусе шнека даже при полном прекращении подачи материала.

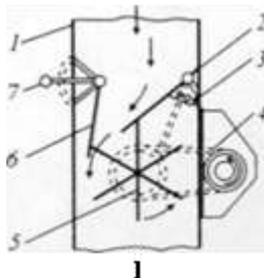


Рис. 8.11. Система подачи измельченного топлива или отходов производства в топку: 1 - трубопровод; 2, 6 - заслонки; 3 - пружина; 4 - привод крыльчатки; 5 - крыльчатка; 7 - противовес

Сухая пробка из сыпучего материала в самотечной линии системы подачи топлива на сжигание создается с помощью крыльчатки дозатора, прижимных заслонок.

Вместо названных устройств могут быть использованы также шлюзовые затворы бункеров или сами бункера сыпучих материалов, если в них остается небольшое количество сыпучего материала, перекрывающее полностью сечение выгрузочного патрубка.

Защита воздуховодов заслонками и задвижками

Огнезадерживающие заслонки применяются для защиты трубопроводов от распространения пламени по Отложениям различных горючих веществ: лакокрасочных материалов, пылей, волокон, жидких конденсатных пленок, твердых пористых продуктов термического распада и т. п. Характерной особенностью в гашении пламени огнезащитными заслонками является тот факт, что еще до подхода пламени они полностью перекрывают сечение воздуховода, создавая препятствие на пути движения пламени. При срабатывании заслонки одновременно происходит остановка движения транспортного потока. Поэтому поступление необходимого для горения количества воздуха и унос дымовых продуктов сгорания нарушается, что способствует гашению пламени за счет флегматизации дымовыми продуктами сгорания. Однако в воздуховодах большого сечения в результате естественной конвекции (обратной тяги) могут создаваться условия притока свежего воздуха и встречного удаления дымовых газов. При таких условиях горение отложений может продолжаться до полного их выгорания по длине воздуховода до заслонки. Поэтому огнезадерживающие заслонки должны обладать достаточным пределом огнестойкости, для чего их делают многослойными из различных материалов.

В отдельных случаях, наряду с автоматическими задвижками, могут применяться задвижки с ручным приводом. В технологических процессах, где не исключена вероятность вспышки применяемых веществ, в системах местных отсосов от ванн, наряду с огнезадерживающей задвижкой с автоматическим приводом, целесообразно установить задвижку ручного действия или с дистанционным пуском. Такой задвижкой можно воспользоваться, например, для предотвращения проскока пламени из горячей ванны в отсасывающую систему с горючими отложениями.

Схемы простейших автоматических заслонок показаны на рис. 8.12.

Своевременность срабатывания заслонок и задвижек оценивают продолжительностью их срабатывания. Заслонка или задвижка успеет перекрыть сечение трубопровода, если длительность срабатывания ее будет меньше длительности движения пламени $\tau_1 < \tau_2$,

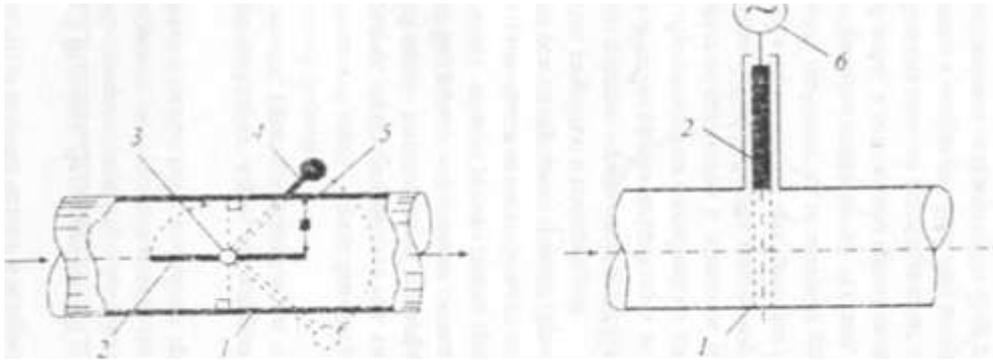


Рис. 8.12 Схемы огнезадерживающих заслонок: а - с противовесом на поворотной заслонке; б-с падающим шибером; 1 - трубопровод, 2 - заслонка (шибер); 3 - ось заслонки; 4 - противовес; 5 - привод (тросик с легкоплавким замком); 6 - электрический привод

Время движения пламени до задвижки определяют по формуле

$$\tau_2 = l/u, \quad (8.10)$$

где l - расстояние от предполагаемого места возникновения горения до огнезадерживающей заслонки (задвижки); u - скорость распространения пламени по горючим паро- газо- или пылевоздушным смесям, отложениям в трубопроводах или сыпучим твердым материалам.

Контрольные вопросы

Какие условия способствуют распространению пламени по производственным коммуникациям.

Характеристика отложений и механизм их образования.

Пожаровзрывоопасность отложений, образующихся в производственных коммуникациях.

Методы борьбы с горючими отложениями, применяемые на практике.

Назовите принцип действия сухого огнепреградителя.

Что называется критическим диаметром канала огнепреградителя?

Как определить критический диаметр канала огнепреградителя?

В каких случаях используются сухие огнепреградители?

Дать классификацию огнепреградителей.

Дать определение гидрозатвора.

Перечислите виды гидрозатворов.

Назовите принцип действия шнекового дозатора, в каких случаях он используется?

Какие способы применяют для предотвращения распространения пожара по производственным коммуникациям с горючими отложениями?

С какой целью на производстве применяют рукавные фильгры?

Назовите принцип действия автоматических заслонок и задвижек.

ЛИТЕРАТУРА

Пожарная безопасность технологических процессов: Рабочая программа. - М. Академия ГПС МЧС России, 2003.

Шатров Н.Ф., Волков О.М., Алексеев М.В. Пожарная профилактика технологических процессов производств. - М.: ВИПТШ МВД СССР, 1986.

ССБТ Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования Методы контроля (ГОСТ Р 12.3.047-98). - М.: Госстандарт России, 1998.

ССБТ Пожарная безопасность. Общие требования (ГОСТ 12.1.004-91). - М.: ИПК издательство стандартов, 1996.

Горячев С.А., Клубань В.С. Задачник по курсу «Пожарная профилактика технологических процессов». - М.: ВИПТШ МВД РФ. 1996.

б Стрижевский И.И., Заказное В.Ф. Промышленные огнепреградители. - М.: Изд. «Химия», 1974.

Водяник В.И. Взрывозащита технологического оборудования. - М.: Изд. «Химия». 1991.

Петров А.П. Пожарная безопасность технологического оборудования с горючими отложениями: Дисс... д-ра техн. наук / ВИПТШ.- М., 1994. - 475 с.

Домничев В.А., Назаров В.П., Шатров Н.Ф. Воспламенение, горение и тушение пленок нефтепродуктов 7 Угольная промышленность СССР: Реф. на картах: ЦНИИЭИуголь. - Вып. 9. - 1987. Карта 302(522).

Лекция 9

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА ПРИ РАЗРУШЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Опасность взрывного повышения давления среды в технологическом оборудовании

Взрывное повышение давления технологической среды внутри оборудования - одна из наиболее опасных аварийных ситуаций, предшествующих или сопутствующих пожару. Под *взрывом* понимают широкий круг явлений, связанных с выделением большого количества энергии в офани-ченном объеме за очень короткий промежуток времени. Физическая сущность этого явления - образование в локальной области зоны повышенного давления с последующим распространением по окружающей среде со сверхзвуковой скоростью взрывной волны, представляющей собой скачок-давления, плотности, температуры и скорости среды.

Наиболее опасным внешним проявлением взрывов горючих систем в замкнутом объеме является быстрое повышение давления, причем (не считая детонации) максимальное давление взрыва может превышать

начальное в 8-10, реже в 12 раз. Высокая температура продуктов сгорания (до 2000 К и выше), как правило, не представляет серьезной опасности для оборудования, поскольку теплоемкость газов незначительна по сравнению с теплоемкостью материала оборудования, поэтому температура стенок повышается всего на несколько десятков градусов.

Для обеспечения требуемой прочности оборудования необходимо, прежде всего, определить максимальное давление взрыва по формуле

$$P_{взр} = P_p (T_{взр} / T_{нач}) (m/n), \quad (9.1)$$

где $P_{взр}$ и P_p - конечное давление взрыва и начальное рабочее давление в аппарате перед взрывом; $T_{взр}$ и $T_{нач}$ - температура продуктов горения при взрыве и начальная температура горючей смеси; m , n - количество молей в продуктах горения и в исходной смеси (по уравнению реакции горения).

При разрушении аппаратов вследствие взрывного повышения давления создаются условия для быстрого распространения пожара в результате выброса горящего содержимого аппарата в производственном цехе или на открытой площадке, повреждения осколками соседнего технологического оборудования, разрушающего действия ударной волны. Разрушение аппаратов при взрывном повышении давления технологической среды часто приводит к гибели людей, оказавшихся в зоне поражения опасными факторами пожара.

При отсутствии эффективных средств защиты взрывное разрушение аппаратов вызывает повреждение зданий, сооружений и оборудования, увеличивает размер ущерба, осложняет обстановку на пожаре, затрудняет действия по ликвидации аварии и пожара. Поэтому защита технологического оборудования от взрыва позволяет обеспечить взрывобезопасность всего производства.

Способы защиты технологического оборудования от разрушения при взрыве

Разрушающим при взрыве является быстро нарастающее давление внутри аппарата. Скорость нарастания и величина давления при **взрыве** зависят от химических свойств горючей смеси, концентрации горючего компонента в смеси, суммарного количества сгоревшего вещества **при** взрыве, начальной температуры и давления исходной горючей смеси.

Сброс взрывного повышения давления для защиты технологического оборудования осуществляется через *мембранные предохранительные устройства (взрывные мембраны) или взрывные клапаны*. Чтобы такая взрывозащита была достаточно надежной, необходимо выполнить два условия: обеспечить срабатывание предохранительных устройств при заданном давлении и их достаточную пропускную способность. Поэтому выбор предохранительных устройств и расчет их основных характеристик являются очень ответственными этапами проектирования оборудования.

Предельная простота конструкции и исключительно высокое быстродействие предохранительных мембран характеризуют их как самые надежные из всех существующих средств взрывозащиты технологического оборудования. Мембраны меньше других устройств подвержены влиянию кристаллизации, полимеризации среды (в известных пределах), обеспечивают полную герметичность оборудования (до срабатывания), не имеют ограничений по пропускной способности. Пожалуй, единственный, но весьма существенный недостаток мембран заключается в том, что после их срабатывания оборудование остается открытым до замены сработавшей мембраны, а это, как правило, приводит к остановке технологического процесса и выбросу излишне большого количества вредных продуктов в атмосферу. Для отвода продуктов взрыва в безопасное место предохранительные мембраны или взрывные клапаны обычно оборудуют сбросными трубопроводами. Трубопровод от предохранительного устройства отводят; либо за крышу, либо за боковую стену здания.

Основное требование к сбросным трубопроводам заключается в обеспечении минимального гидравлического сопротивления потоку сбрасываемых газов. Для этого трубопровод должен иметь минимальную длину, минимальное число поворотов и других местных сопротивлений.

Виды мембранных предохранительных устройств

По характеру разрушения различают *разрывные, срезные, ломающиеся, хлопающие, выщелкивающиеся* и *отрывные* взрывные мембраны (рис. 9.1).

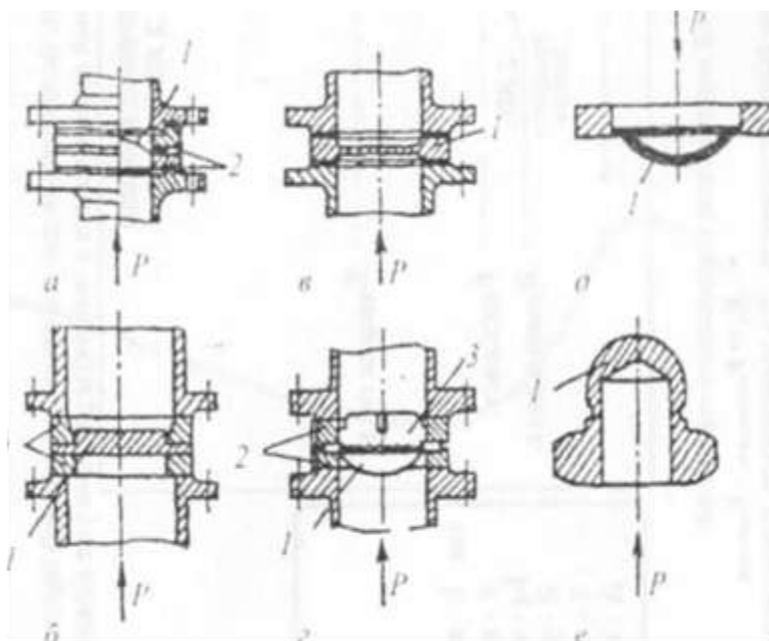


Рис. 9.1. Мембранные предохранительные устройства с разрушающимися мембранами: а - с разрывной мембраной; б - со срезной мембраной; в - с ломающейся мембраной; г - с хлопающей

мембраной: δ - с выщелкивающейся мембраной; ε - с отрывной мембраной; 1 - мембрана; 2 прижимные кольца: 3- разрезной нож

Разрывные мембраны при срабатывании разрываются, поэтому их чаще изготавливают в виде тонкой пластины, плоской или вогнутой, из пластичных металлов (алюминия, никеля, меди, латуни или других).

Срезные мембраны срезаются по периметру острой кромки прижимного кольца. Их также изготавливают из пластичных металлов.

Ломающиеся мембраны при срабатывании ломаются и поэтому они выполняются из хрупких материалов (чугуна, графита, стекла и т. п.). Они чувствительно реагируют на нагрузки динамического характера, являются малоинерционными.

Хлопающие мембраны имеют форму сферического купола, выпуклая сторона которого обращена к зоне повышенного давления (внутри защищаемого аппарата). При повышении давления сверх критического сферический купол мембраны теряет устойчивость и выворачивается в обратную сторону. При этом мембрана сталкивается с крестообразным ножом и разрезается. Хлопающие мембраны изготавливают из тонколистового проката пластичных металлов.

Выщелкивающиеся мембраны применяют в тех случаях, когда разрывные и срезные мембраны из-за малой их толщины допускают ложные срабатывания. Выщелкивающиеся мембраны чаще изготавливают из пластмасс, они имеют выпуклую форму и крепятся в специальном гнезде (кольцевой выточке) с помощью мягкого припоя или замазки. При срабатывании выщелкивающиеся мембраны выбиваются из гнезда, полностью освобождая «живое» сечение стравливающего патрубка. После срабатывания выщелкивающиеся мембраны вновь могут быть использованы (они многократного действия).

Отрывные мембраны применяют для защиты аппаратов с высоким рабочим давлением. Ими, например, защищены змеевиковые реакторы производства полиэтилена методом высокого давления ($p_p = 150-200$ МПа), колонны синтеза карбамида ($p_p = 20$ МПа) и т. п. Такая мембрана чаще всего имеет вид колпачка, отлитого вместе с фланцами для крепления, и имеет ослабленное сечение, по которому и происходит ее отрыв при срабатывании.

Взрывные клапаны с шарнирно-откидными дверцами (рис. 9.2) применяют для защиты трубчатых печей, топков котлов, газогенераторов и других аппаратов.

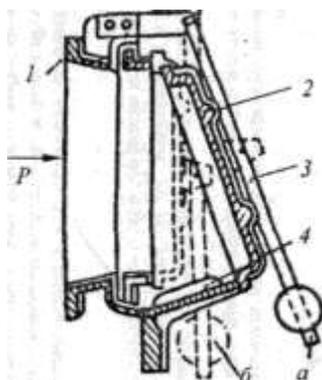


Рис. 9.2. Предохранительный клапан с шарнирно-откидной дверцей: а-до взрыва; б-после взрыва; 1 - рама клапана; 2 - дверца (клапан); 3 - противовес; 4 - упор для фиксации клапана в исходном положении

В исходном положении дверца клапана закрыта. Герметичность ее обеспечивается прижатием под действием собственного веса и противовеса. При нарастании взрывного давления в аппарате дверца клапана откидывается на шарнире и, выпустив избыточное давление, вновь закрывает выпускное отверстие.

Основные размеры взрывных мембран (диаметр и толщина), общую их площадь и количество определяют расчетом.

Мембранные клапаны, как правило, размещают на аппаратах в верхней части, на трубопроводах и воздухопроводах - на поворотах, в тупиках, с учетом безопасности людей и пожарной безопасности: стравливаемые высоконагретые продукты взрыва должны быть направлены в сторону от людей и горючих веществ. Материал мембран подбирают, учитывая не только характер изменения нагрузок на мембрану, но и химическую активность среды в защищаемом аппарате или трубопроводе. Аппарат после срабатывания взрывной мембраны немедленно останавливают, все трубопроводы перекрывают. Пуск его в работу разрешается только после выяснения и устранения причин, вызвавших срабатывание мембраны, и замены разрушенной мембраны.

Расчет предохранительных мембран на заданное давление срабатывания

Давление срабатывания мембраны не должно выходить за пределы диапазона, ограниченного максимальным и минимальным его значениями. Максимальное значение этого диапазона определяется прочностью защищаемого аппарата - оно должно быть не больше расчетного давления аппарата. Это означает, что предохранительная мембрана должна быть самым слабым узлом в конструкции оборудования и при неуправляемом повышении давления в нем мембрана должна разрушаться в первую очередь. Минимальное значение диапазона, в котором должно находиться давление срабатывания мембраны, определяется рабочим давлением в защищаемом аппарате - оно должно быть больше рабочего давления, предусмотренного технологическим регламентом, т.

е. при нормальном (не аварийном) режиме протекания технологического процесса, что обусловлено вполне очевидным соображением - мембрана не должна срабатывать при нормальных условиях эксплуатации оборудования, а только в аварийном случае.

Задачей расчета предохранительной мембраны является определение какого-либо характерного ее конструктивного размера, чаще всего толщины, из условия получения заданного давления срабатывания.

При нагружении плоской мембраны из тонколистового проката пластичного металла перепадом давлений она приобретает форму сферического купола. Таким образом, непосредственно перед разрывом мембрана работает как тонкостенная сферическая оболочка (радиус R и толщина Δ), защемленная по контуру (диаметр D) (рис. 9.3). Разрывное давление p_c такой оболочки (давление срабатывания мембраны) может быть определено по формуле

$$p_c = 2\Delta_0 \sigma_{вр} / R, \quad (9.2)$$

где Δ_0 - толщина материала мембраны; $\sigma_{вр}$ - временное сопротивление материала при растяжении (предел прочности).

В формуле (9.2) неизвестной величиной является радиус R кривизны срединной поверхности оболочки, который полностью определяется пластическими свойствами материала мембраны. Очевидно, чем менее пластичен материал (до некоторых пределов) при всех прочих равных условиях, тем меньше выпучивается мембрана перед разрывом, поэтому разрушение такой мембраны произойдет при меньшем давлении p_c . Общепринятой мерой пластичности материала является относительное удлинение δ при разрыве.

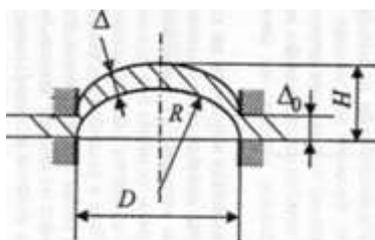


Рис. 9.3. Расчетная схема разрывной мембраны

Для разрывной мембраны принятое допущение означает, что предел деформации оболочки наступает тогда, когда ее толщина приобретет относительное утончение Δ' , которое функционально связано с величиной δ выражением

$$1 - \Delta' = 1 / \sqrt{1 + \delta},$$

$$(\pi D^2 / 4) \Delta_0 = S \Delta = S \Delta_0 (1 - \Delta'),$$

где S - поверхность купола мембраны на пределе разрыва, которую можно выразить через ее размеры

$$S = 2\pi R H = 2\pi R \left[R - \sqrt{R^2 - (D/2)^2} \right].$$

Пренебрегая неравномерностью толщины купола мембраны Δ , из условия сохранения объема материала при пластической деформации можно записать

Тогда с учетом формулы (9.2) можно выразить минимальный (на пределе разрыва) радиус купола

$$R = \frac{D}{4} \sqrt{(1+\delta)(\sqrt{1+\delta}-1)}$$

и формула (9.2) для определения давления срабатывания разрывной мембраны примет вид

$$p_c = \frac{8\Delta_0\sigma_{вр}}{D} \sqrt{\frac{\sqrt{1+\delta}-1}{1+\delta}} \quad (9.3)$$

Используя уравнение (9.3), легко можно решить обратную задачу: по заданным величинам давления срабатывания p_c и диаметра мембраны D определить необходимую толщину металлопроката Δ_0 . При этом для расчета достаточно располагать такими основными характеристиками механических свойств материала, как предел прочности $\sigma_{вр}$ и относительное удлинение δ в момент разрыва для случая одноосного растяжения, которые приводятся в широко распространенной справочной литературе. Если мембрана работает при температуре, отличной от нормальной (20 °С), то в расчетные формулы необходимо вводить соответствующий поправочный коэффициент.

Толщину проката для мембраны можно рассчитать по формуле

$$\Delta_0 = \frac{p_c D}{8k_t \sigma_{вр}} \sqrt{\frac{1+\delta}{\sqrt{1+\delta}-1}} \quad (9.4)$$

где Δ_0 - толщина материала мембраны; $\sigma_{вр}$ - предел прочности (временное сопротивление материала при разрыве); k_t - температурный поправочный коэффициент, зависящий от материала мембраны и рабочей температуры в защищаемом аппарате; δ - относительное удлинение при разрыве.

Срок службы предохранительных мембран

Если разрывная мембрана достаточно продолжительное время находится под постоянной нагрузкой, весьма близкой к пределу ее прочности, то в конце концов она разрушится, т. е. произойдет ложное ее срабатывание. Преждевременное срабатывание мембран приведет к потере ценного продукта, загазованности окружающего пространства, остановке производства. Поэтому важно знать, через какой промежуток времени должна производиться профилактическая замена мембраны.

Основными факторами, влияющими на срок службы мембран, являются:

- коррозионная стойкость материала к среде защищаемого аппарата;
- температура;
- степень нагружения (соотношение между рабочим давлением и давлением срабатывания мембраны);
- характер нагрузки (статическая, знакопеременная, пульсирующая).

Коррозия мембран недопустима, поэтому материал мембраны должен выбираться из условия его максимальной коррозионной стойкости к данной среде. Причем, чем меньше давление срабатывания, тем тоньше должна быть

мембрана и, следовательно, тем больше должна быть ее коррозионная стойкость. Увеличение толщины мембраны на коррозию, как это делается в химической промышленности, недопустимо.

Для защиты предохранительных мембран от коррозии применяются полимерные и лакокрасочные покрытия, фторопластовые пленки. Для защиты от атмосферных воздействий применяются покрытия на основе перхлорвиниловых смол, полиакриловые лаковые и эмалевые покрытия, пентафталевые, алкидномеламиновые эмали.

По существующим нормативным документам замену мембран необходимо производить через каждые два года, при этом предпочтительно увязывать данное мероприятие с плановыми ремонтами оборудования. Если ложное срабатывание совершенно неопасно ни для технологического процесса, ни для окружающей среды, то периодических плановых замен можно вообще не производить, хотя на практике такой случай может встретиться крайне редко.

Расчет площади сбросных отверстий

При расчете требуемой площади проходного сечения устройств сброса давления взрыва достаточно выполнить следующее условие: повышение давления в защищаемом объеме при горении среды должно быть полностью компенсировано снижением давления вследствие истечения газов через сбросное отверстие. Для этого необходимо удалять за единицу времени из объема максимальное количество паров:

$$G = F u \rho (\varepsilon - 1), \quad (9.5)$$

где F - поверхность фронта пламени; u - нормальная скорость распространения фронта пламени; ρ - плотность удаляемого газа; ε - степень расширения газов при сгорании.

Предельное значение плотности газа можно выразить формулой

$$\rho = \rho_0 (p / p_0)^{1/k}, \quad (9.6)$$

где p - абсолютное значение давления в защищаемом аппарате; k - показатель адиабаты; индекс «0» обозначает начальное значение параметров.

Степень расширения газов при сгорании изменяется в зависимости от их температуры. При адиабатическом сжатии горючего газа в процессе развития взрыва величину ε можно выразить в зависимости от давления

$$\varepsilon = 1 + (\varepsilon_0 - 1) (p / p_0)^{(1-k)/k}, \quad (9.7)$$

$$G = F u \rho_0 (\varepsilon_0 - 1) (p / p_0)^{(2-k)/k}. \quad (9.8)$$

Итак, для эффективной взрывозащиты любого объекта, обусловленной сбросом давления, необходимо, чтобы предохранительное устройство могло обеспечить расход газов не менее

Максимальный относительный перепад давлений на сбросном отверстии равен

$$v = p' / p. \quad (9.9)$$

Максимальную поверхность фронта пламени можно выразить формулой

$$F = f F_{max} \quad (9.10)$$

где F_{max} - максимальная поверхность пламени, найденная геометрически в предположении, в первом приближении, что от точки поджога пламя распространяется во все стороны с одинаковой скоростью и поэтому имеет сферическую форму; f - коэффициент искривления фронта пламени.

Если поджог пламени осуществляется не в центре сосуда, а, например, у стенки, то максимальная поверхность фронта пламени может быть найдена графически или аналитически при известных геометрических размерах сосуда. Если возможная точка поджога заранее известна, как чаще всего и бывает на практике, то расчет необходимо вести на самый неблагоприятный случай, когда в процессе горения поверхность фронта пламени может быть максимальной (обычно это и соответствует случаю поджога в центре объема).

Наиболее неблагоприятный случай - когда через сбросное отверстие истекают не продукты сгорания, а холодные газы. Тогда их температуру можно выразить как

$$T = T_0 (p / p_0)^{(k-1)/k} \quad (9.11)$$

Площадь сбросного отверстия определяется по формулам:

- для докритического режима истечения, когда $v > [2/(k+1)]^{k/(k-1)}$

$$S \geq \frac{F u \rho_0 (\epsilon - 1) (p / p_0)^{1/k}}{\alpha p \sqrt{(2uM / RT) k / (k-1) (v^{2/k} - v^{(k+1)/k})}} \quad (9.12)$$

- для критического режима истечения, когда $v \leq [2/(k+1)]^{k/(k-1)}$

$$S = \frac{F u \rho_0 (\epsilon - 1) (p / p_0)^{1/k}}{\alpha p \sqrt{(kuM / RT) [2/(k+1)]^{(k+1)/(k-1)}}} \quad (9.13)$$

где u - нормальная скорость распространения пламени в данной смеси; ρ_0 - начальная плотность горючей смеси; α - коэффициент истечения газа через сбросное отверстие; M - молекулярная масса; R - универсальная газовая постоянная.

Устройства по ограничению аварийного растекания ЛВЖ и ГЖ

При повреждениях и авариях аппаратов из них происходит свободный разлив горючих жидкостей, нередко на значительной площади.

Предупреждение или уменьшение аварийного истечения жидкостей из поврежденных аппаратов и трубопроводов обеспечивается установкой в определенных точках технологической схемы необходимого количества устройств, с помощью которых можно оперативно прекратить или уменьшить выход горючих веществ наружу.

Чаще всего для этой цели используют запорные задвижки ручного действия или с дистанционным пуском, с автоматическим приводом, а также другие специальные устройства (скоростные отсекатели потока, обратные

клапаны, мембранные клапаны и т. п.). Введение в действие этих устройств часто блокируют с автоматическим отключением перекачивающих насосов.

Предупреждение аварийного растекания излившейся жидкости обеспечивают устройством на пути ее движения различных преград (защитных обвалований, стенок, бортиков, порогов, лотков и т. п.).

Если производственное помещение или открытая установка имеют значительную площадь и на ней равномерно размещается технологическое оборудование с горючими и легковоспламеняющимися жидкостями, разделение производственной площади бортиками на противопожарные отсеки ограничивает аварийный разлив жидкости и размер возможной площади горения.

Чтобы разлившаяся при аварии жидкость не попадала через дверные проемы из помещения наружу или в смежные помещения, устраивают пороги с пандусами.

Аварийный разлив горючих жидкостей по территории производственного предприятия может быть ограничен устройством лотков, желобов,

канал, дополнительных насыпей и других сооружений, располагаемых с учетом рельефа местности и аварийной ситуации.

Отдельно стоящие резервуары и группы резервуаров с горючими жидкостями ограждаются земляным валом и несгораемой стеной, рассчитанной на гидростатическое давление разливающихся жидкостей. Однако такие преграды способны удержать поток жидкости только при локальном разрушении технологического оборудования или частично заполненного жидкостью аппарата, т. е. когда напор потока недостаточен для перелива через обвалование.

При полном разрушении крупногабаритных технологических аппаратов, например резервуаров, поток жидкости (так называемая волна прорыва) движется по законам динамики, поэтому земляные обвалования не могут его удержать и разрушаются. Для повышения безопасности населения, объектов застройки населенных пунктов и природы, которые могут оказаться в зоне воздействия волны прорыва, образующейся при квазимгновном разрушении РВС, необходимо применять защитные инженерные сооружения, устойчивые к гидродинамическому воздействию.

Для решения этой задачи рассмотрим процессы возникновения и распространения волны прорыва, образующейся при разрушении РВС, и ее взаимодействия с защитными преградами.

Для волны прорыва свойственны наличие резкого фронта в виде бора (вала), достигающего значительной высоты и движущегося с большой скоростью, а также большая разрушительная сила потока. При этом типе движения профиль волны имеет резко выраженную кривизну линий тока, изменение которой, как правило, столь круто, что профиль потока, по существу, разрывается, приходя в состояние высокой турбулентности. Следовательно, вертикальный компонент ускорения играет здесь значительную роль, тогда как влиянием трения в канале практически можно пренебречь по сравнению с динамическим эффектом движения потока.

Характерными особенностями этого вида движения являются:

-кривизна потока, которая выражена настолько резко, что распределение давления не может быть принято гидростатическим;

-быстрое изменение режима потока происходит на относительно коротком участке, поэтому граничное трение, как правило, ничтожно;

-при возникновении быстро изменяющегося движения в резких переходных сооружениях физические характеристики потока определяются в основном геометрией границ сооружения и состоянием потока.

Основным способом решения задачи, связанной с образованием волны прорыва при внезапном разрушении водохранилища и распространением ее в широком прямоугольном русле с постоянным уклоном, являются методы вычислительной гидравлики, использующие дифференциальные уравнения Сен-Венана [7] вида

$$\begin{cases} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0, \\ \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial (q^2/h + gh^2/2)}{\partial x} - ghl + \frac{\lambda}{2} g^2 = 0, \end{cases} \quad (9.14)$$

где h - глубина потока; q - расход на единицу ширины; $g = q/h$ - скорость течения; I - уклон дна русла; t - время; x - пространственная переменная; λ - коэффициент гидравлического трения.

Решение задачи о неустановившемся движении жидкости в открытом русле сводится к интегрированию уравнений Сен-Венана или их модификаций. В результате должны быть получены две функции $Q=Q(t, l)$ и $\omega = \omega(t, l)$, зная которые можно найти изменение расхода во времени в любом створе потока и построить мгновенный профиль свободной поверхности в любой момент времени. Однако дифференциальные уравнения Сен-Венана являются нелинейными и их интегрирование в общем случае невозможно. Поэтому на практике применяются методы приближенного (численного) интегрирования с использованием ЭВМ, решения которых, вследствие их ограниченной точности, необходимо тестировать путем сравнения результатов численных вычислений с натурными данными или результатами лабораторных опытов.

Математическая модель возникновения и распространения волны прорыва, образующейся при разрушении РВС, а также ее взаимодействия с защитной преградой разработана на основании известных теоретических положений о неустановившихся гидродинамических явлениях совместно с кафедрой нефтегазовой гидродинамики Академии нефти и газа им. И.М. Губкина [8].

Рассматривалось движение слоя жидкости глубиной $h(x, y, t)$ по плоскости, наклоненной к горизонту под углом α , которое характеризовалось осредненными по высоте слоя компонентами скорости $g_i, i = 1, 2$, соответственно, вдоль осей OX и OY . Жидкость предполагалась несжимаемой, поэтому уравнение неразрывности, проинтегрированное по высоте слоя, приводило к уравнению, связывающему эту высоту с осредненными компонентами скорости течения:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h \vartheta_k}{\partial x_k} = 0, \quad (9.15)$$

Под повторяющимся индексом k подразумевали суммирование от 1 до 2.

Поскольку основными факторами, определяющими развитие волны прорыва, являются силы тяжести и инерции жидкости, в уравнениях движения трением пренебрегали, а в качестве движущей силы приняты горизонтальные составляющие градиента гидростатического давления, обусловленного непостоянством глубины слоя жидкости. В этом случае имели

$$\frac{\partial \vartheta_i}{\partial t} + \vartheta_k \frac{\partial \vartheta_i}{\partial x_k} + g \frac{\partial h}{\partial x_i} = -g \cos \alpha_i, \quad (9.16)$$

где g - ускорение силы тяжести; α_i - углы, образованные вектором скорости и направлением силы тяжести.

В одномерной задаче, моделирующей распространение жидких лавин при разрушении стенок плоского канала или резервуара, система определяющих уравнений (9.15) и (9.16) упрощалась:

$$\begin{cases} \frac{\partial x^\nu h}{\partial t} + \frac{\partial x^\nu h \vartheta}{\partial x} = 0; \\ \frac{\partial \vartheta}{\partial t} + \vartheta \frac{\partial \vartheta}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} = -g \cos \alpha. \end{cases} \quad (9.17)$$

Входящий в нее индекс ν равен 0 или 1 в зависимости от того, плоская или цилиндрическая симметрия рассматривалась.

Рассматриваем плоскую задачу: между двумя створами $x = \pm R$ имеется бесконечный канал, заполненный жидкостью с постоянной глубиной H_0 . В начальный момент времени $t = 0$ створы мгновенно разрушаются и покоящаяся до того жидкость приходит в движение, растекаясь в обе стороны. На расстояниях $(L - R)$ справа и слева от створов канала, т. е. в точках $x = \pm L$, расположены защитные стенки, препятствующие проникновению жидкости в область $|x| > L$. Необходимо найти высоту стенок с учетом того обстоятельства, чтобы жидкая лавина не смогла их преодолеть. Ответ на этот вопрос может быть найден из решения следующей краевой задачи:

$$\begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h \vartheta}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial h \vartheta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(h \vartheta^2 + \frac{gh^2}{2} \right) = 0; \\ h(x, 0) = \begin{cases} H_0 & \text{при } 0 \leq x \leq R; \\ 0 & \text{при } R < x \leq L; \end{cases} \quad (9.18) \\ \vartheta(x, 0) = 0, \quad \vartheta(0, t) = \vartheta(L, t) = 0. \end{aligned}$$

При этом высота H_c защитных стенок находится как максимальная высота подъема жидкости в точках $x = \pm L$, т. е. $h(\pm L, t) = H_c$.

Решение сформулированной задачи осуществлялось численно с помощью метода С.К. Годунова [9, 10] и использования результатов решения задачи о распаде произвольного разрыва в системе дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка (9.15), (9.16).

На рис. 9.4 представлены результаты расчета, полученные при решении задачи о разрушении РВС ($R = 10$ м; $H_0 = 10$ м; $L = 20$ м), в виде типичных кривых, определяющих профиль жидкости в последовательные моменты времени с шагом 0,5 с. На рисунке прослеживаются основные стадии процесса: распространение потока жидкости в направлении стенки, сопровождающееся понижением уровня жидкости в резервуаре; удар лавины о защитную стенку и резкий выброс жидкости вверх, вдоль нее; образование обратного вала жидкости, отраженного от стенки и распространяющегося по направлению к центру резервуара. Максимальная высота H_c подъема жидкости на стенке составляет в рассматриваемом случае 5,3 м. Именно при такой высоте защитной стенки должно быть исключено проникновение жидкости в область за стенку.

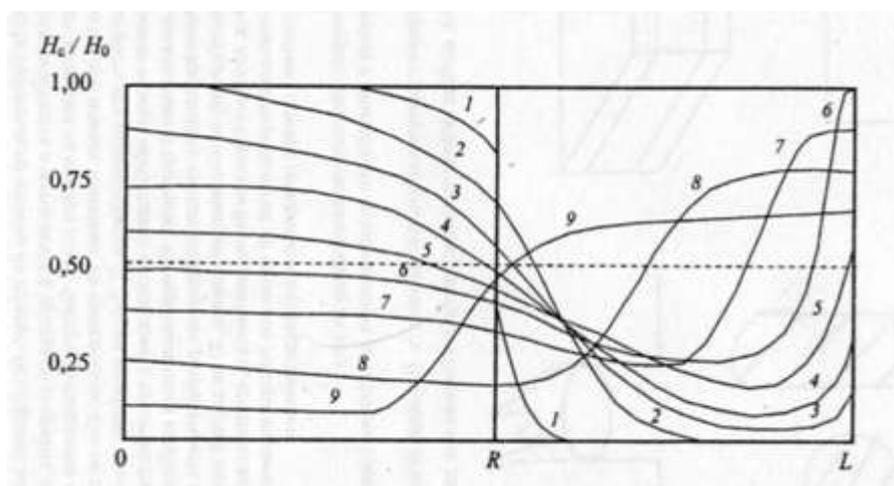


Рис. 9.4. Типичные кривые, определяющие профиль потока жидкости при взаимодействии с преградой

Аналогичный вид имеет форма вала жидкости и во всех других случаях, как плоских, так и радиальных.

В процессе расчетов варьировался единственный безразмерный параметр $УК$, определяющий положение стенки по отношению к резервуару. На рис. 9.5 сплошной линией представлена зависимость безразмерной высоты стенки H_c/H_0 , достаточной для перекрытия пути движущейся лавине жидкости в зону за стенку, от безразмерного расстояния L/R . Пунктирной линией обозначена зависимость безразмерной высоты нормативной стенки, рассчитанной на гидростатическое давление вылившейся из РВС жидкости.

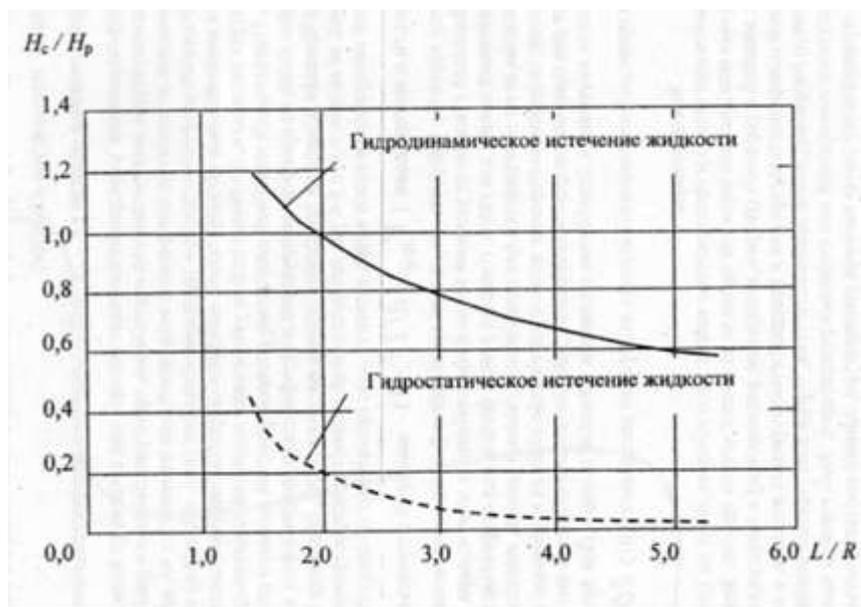


Рис. 9.5. Зависимость безразмерной высоты стенки от безразмерного расстояния до места ее расположения от резервуара

Из приведенных на рис. 9.5 графиков следует, что высота защитной стенки при гидродинамическом воздействии должна быть значительно выше, чем используемая на практике нормативная, что подтверждает также статистика разливов жидкостей при разрушениях РВС.

Для ограничения аварийного растекания ЛВЖ и ГЖ в этом случае предлагается обустройство специальной защитной стены с отбойным козырьком, способной удержать поток жидкости и свести к минимуму последствия техногенной аварии. Конструкция такой преграды показана на рис. 9.6.

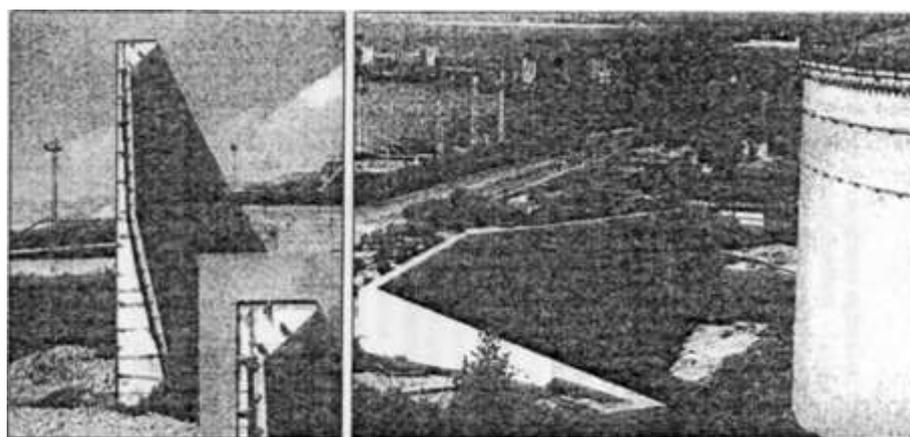


Рис. 9.6. Общий вид защитной стены с отбойным козырьком для РВС-30000 на нефтебазе «Шесхарис» г. Новороссийска

Отличительной особенностью защитной стены является отбойный козырек в ее верхней части, который отбрасывает (закручивает в противоположную сторону) поток надвигающейся жидкости и предотвращает ее перехлест через обвалование.

Если резервуары размещены на более высоких отметках по отношению к промышленным установкам, предприятиям и населенным пунктам и расположены от них на меньшем расстоянии, чем установлено нормами, наряду с защитной стеной применяют дополнительные защитные устройства: второй земляной вал или ограждающую стену; отводные каналы (траншеи); открытые земляные амбары.

Контрольные вопросы

Какие мероприятия включает в себя защита технологического оборудования от разрушения?

Как определить максимальное давление взрыва?

От каких параметров зависит величина давления взрыва?

Для чего в технологическом оборудовании применяют взрывные мембраны?

Как классифицируются мембраны?

Принцип работы взрывного клапана с откидными дверцами.

В каких случаях в технологическом оборудовании применяют выщелкивающие мембраны?

Как определить максимально допустимое давление срабатывания взрывной мембраны?

Как определить площадь сечения сбросного отверстия мембраны?

Как определить толщину мембраны?

Периодичность замены мембран на технологическом оборудовании.

Какие защитные устройства ограничивают растекание горючих жидкостей при аварии?

Литература

Пожарная безопасность технологических процессов: Рабочая программа. - М.: Академия ГПС МЧС России, 2003.

Шатров Н.Ф., Волков О.М., Алексеев М.В. Пожарная профилактика технологических процессов производств. - М.: ВИПТШ МВД СССР, 1986.

ССБТ Пожарная безопасность. Общие требования (ГОСТ 12.1.004-91). - М.: ИПК издательство стандартов, 1996.

ССБТ Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля (ГОСТ Р 12.3.047-98). - М.: Госстандарт России, 1998.

Горячев С.А., Клубань В.С. Задачник по курсу «Пожарная профилактика технологических процессов». - М.: ВИПТШ МВД РФ, 1996.

Водяник В.И. Взрывозащита технологического оборудования. - М.: Изд. «Химия», 1991.

Школьников С.Я. Трансформация прорывной волны на суходоле / *С.Я. Школьников, Н.С. Юзбеков* // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. - 1999. - № 6. - С.26-30.

Лебедева Л.Н. Лавинные выбросы при разрушении резервуаров с жидкостями / *Л.Н. Лебедева, М.В. Лурье, А.Н. Швырков* // Инженерно-физический журнал. - 1991. - Т.61.-№5.-С. 726-731.

Годунов С.К. Разностный метод численного расчета разрывных решений гидродинамики // Мат. Сб. - 1959. - Т. 47. - Вып. 3. - С. 117-143.

Лекция 10

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ОГНЕВЫХ РЕМОНТНЫХ РАБОТ

Согласно статистике, доля пожаров в промышленном секторе России при производстве регламентных, ремонтных и огневых работ составляет 13 % от общего количества пожаров. При этом из-за нарушения технологического производства, нарушения правил пожарной безопасности при проведении электрогазосварочных работ, нарушения правил устройства и эксплуатации электрооборудования, теплогенерирующих установок происходит порядка 10 тыс. пожаров ежегодно, сопровождающихся гибелью людей (100-150 человек) и огромным материальным ущербом. На предприятиях нефтегазового комплекса (НГК) доля пожаров при производстве предремонтной подготовки, ремонтных и огневых работ достигает 50 %, а на резервуарах - 60 %. Пожары на технологическом оборудовании сложны: практически всегда присутствует угроза взрыва. Поэтому основное внимание необходимо уделять профилактической составляющей системы обеспечения пожарной безопасности, используя существующие методы и способы обеспечения пожарной безопасности.

Способы и принципы обеспечения пожарной безопасности

Способы обеспечения пожарной безопасности основаны на принципе разрыва связей мнемонического треугольника горения, тремя сторонами которого являются: окислитель, горючее и источник зажигания. Анализ результатов современных исследований позволяет классифицировать способы обеспечения пожаровзрывобезопасности (ПВБ) при ликвидации аварий, чрезвычайных ситуациях (ЧС) и ремонтно-восстановительных работах на технологическом оборудовании по следующим группам (методам):

- снижению концентрации паров (газов) углеводородов;
- предотвращению контакта источника зажигания с взрывоопасными концентрациями паров (газов) углеводородов;
- флегматизации (ингибирование) газового пространства технологического оборудования.

Условиями обеспечения ПВБ с помощью первого метода являются:

а) снижение концентрации паров (газов) в газовом пространстве технологического аппарата φ_p до величины меньше значения нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПР) φ_n с учетом коэффициента безопасности $K_{б.м}$, т. е. при этом должно соблюдаться соотношение:

$$\varphi_p \leq \frac{\varphi_n}{K_{б.м}}; \quad (10.1)$$

б) очистка поверхностей технологического объекта от отложений и жидкой фазы до невоспламеняемой толщины слоя пожароопасных углеводородных остатков с соблюдением условия:

$$m_{пдпн} \leq \frac{m_{кр}}{K_{б.м}}, \quad (10.2)$$

Где $m_{пдпн}$ - предельно допустимая масса пожарной нагрузки; $m_{кр}$ - критическое значение массы пожарной нагрузки; $K_{б.м}$ - коэффициент безопасности, принимаемый для предельно допустимой пожарной нагрузки.

Исходя из соотношения (10.2) и зная, что $m = \rho\delta$, справедливо условие:

$$\delta_{пдпн} \leq \frac{\delta_{кр}}{K_{б.м}}, \quad (10.3)$$

где $\delta_{пдпн}$ - предельно допустимая толщина остаточного слоя загрязнения; $\delta_{кр}$ - критическая максимальная невоспламеняемая толщина остаточного слоя технологических углеводородных жидких (твердых) остатков.

Для оценки ПВБ необходимо знать коэффициент безопасности. Значение $K_{б.н}$ при проведении огневых и искроопасных работ рекомендуется принимать не менее 20 (5 % от НКПР). Условие (10.1) обеспечивает взры-вобезопасность, но не исключает пожарную опасность в том случае, если в технологическом процессе имеются горючие твердые или жидкие вещества. Очистка технологического объекта, мест утечек, аварий обычно осуществляется ручным способом с выполнением значительного объема трудоемких работ во вредных для здоровья рабочих условиях.

Первый метод (группа способов) обеспечения ПВБ при предремонтной подготовке объекта реализуется с помощью следующих технологических операций: принудительной вентиляции, пропаривания, гидравлической мойки, сорбции паров и газов, компремирования парогазовоздушных смесей, механической чистки. В зависимости от экономической целесообразности и свойств горючей нагрузки (ГН) указанные способы могут применяться отдельно или в комбинации.

Обоснование методов обеспечения ПВБ целесообразно проводить с учетом оценки пожарной опасности и критических условий воспламенения и горения тонких слоев (пленок) углеводородосодержащей ГН.

Второй метод обеспечения ПВБ основан на исключении контакта источника зажигания и горючих веществ. Пожарная безопасность обеспечивается с помощью воздушно-механических пен (ВМП) и (или) твердеющих пен. Учитывая широкое распространение пен в практике по-

жаротушения и наличие на объектах значительного количества пенообразователя с истекшим сроком хранения, целесообразно более детально рассмотреть способы изоляции источника зажигания с помощью воздушно-механических пен. Обеспечение ПВБ при этом достигается:

а) снижением концентрации в газовом пространстве технологического оборудования до ПДВК, т.е. должно выполняться условие (10.1);

б) покрытием поверхности нефтепродуктов (отложений) слоем изолирующего вещества при соблюдении условий:

$$\delta_{\text{без}} \geq \frac{\delta_{\text{кр}}}{K_{\text{б.и.п}}}; \quad (10.4)$$

$$V_{\text{з.п}} \leq \frac{\delta_{\text{кр}} F}{K_{\text{б.и.п}}}; \quad (10.5)$$

$$\tau_{\text{з.п}} \geq \tau_{\text{о.р}} + \tau_{\text{п}}; \quad (10.6)$$

где $\delta_{\text{без}}$, $\delta_{\text{кр}}$ - безопасная и критическая толщина покрытия, исключающая газопроницаемость; $K_{\text{б.и.п}}$ - коэффициент безопасности, принимаемый для толщины изолирующего покрытия; $\tau_{\text{з.п}}$ - время действия защитного покрытия; F - площадь горючих остатков; $V_{\text{з.п}}$ - объем защитного покрытия; $\tau_{\text{о.р}}$ - длительность огневых работ; $\tau_{\text{п}}$ - продолжительность перерывов в работе.

Необходимость выполнения условия (10.1) при реализации данного метода обеспечения ПВБ обуславливается возможностью образования искр (расплавленных капель).

Предотвращение возникновения пожара (взрыва) может быть обеспечено также путем изоляции места проведения огневых работ (ОР) от горючей среды. При использовании в качестве изолирующего покрытия быстро разрушающихся ВМП в процессе подачи происходит одновременная дегазация газового пространства. Если применяются твердеющие пены, пленкообразователи, микрошарики, при подаче которых практически отсутствует эффект снижения концентрации, то после покрытия ими поверхности испарения требуется дегазация технологического аппарата путем его вентиляции.

Третий метод обеспечения ПВБ огневых работ основан на снижении концентрации окислителя в газовом пространстве и не требует предварительной очистки технологического аппарата.

Условиями пожаровзрывобезопасности этого метода являются:

а) снижение концентрации кислорода при использовании инертных флегматизаторов (азот, аргон, углекислый газ, продукты сгорания и т. п.)

до значения меньше минимального взрывоопасного содержания кислорода (МВСК) с учетом коэффициента безопасности $K_{\text{б.к}}$

$$\varphi_{\text{без.к}} \geq \frac{\varphi_{\text{МВСК}}}{K_{\text{б.к}}}; \quad (10.7)$$

где $\varphi_{\text{без.к}}$ - безопасная концентрация кислорода в газовом пространстве трубопровода;

б) поддержание безопасной концентрации ингибитора (смеси ингибитора и инертного газа) $\varphi_{\text{без.ф}}$ выше минимальной флегматизирующей концентрации флегматизатора $\varphi_{\text{ф}}$ с учетом коэффициента безопасности $K_{\text{б.ф}}$

$$\varphi_{\text{без.ф}} \geq \varphi_{\text{ф}} K_{\text{б.ф}}; \quad (10.8)$$

в) поддержание избыточного содержания паров углеводородов (природного или нефтяного газа) выше значения верхнего концентрационного предела распространения пламени (ВКПР) $\varphi_{\text{в}}$ с учетом коэффициента безопасности $K_{\text{б.в}}$

$$\varphi_{\text{без.г}} \geq \varphi_{\text{в}} K_{\text{б.в}}. \quad (10.9)$$

В ГОСТ 12.1.004-91 изложены требования к определению коэффициента безопасности с учетом ошибки расчета или эксперимента по определению показателя пожаровзрывоопасности. Однако такой подход не учитывает неравномерность распределения концентрации в газовом пространстве резервуара и погрешность газового анализа в процессе контроля уровня безопасности. Для определения коэффициентов безопасности $K_{\text{б.н}}$, $K_{\text{б.в}}$, $K_{\text{б.ф}}$ требуется проведение комплекса экспериментально-теоретических исследований.

Предельно допустимая пожарная нагрузка

Актуальность разработки данного понятия и методик количественной оценки ПДПН обуславливается сложностью обеспечения абсолютной чистоты очистки места аварии, а также необходимостью механизации процесса очистки и ликвидации ручного труда во вредных условиях.

Известно, что 90-95 % загрязнений обычно удаляется с поверхности в течение первой половины времени очистки. Экспериментально установлено, что не только при механической очистке, но и при вентиляции, пропарке, гидравлической очистке 3-10 % технологических остатков очищаются за такое же по продолжительности время, как и основная масса углеводородных отложений. Для преодоления сил межмолекулярного взаимодействия (сил адгезии) нужны очень большие энергетические затраты, поэтому ручным способом полностью удалить технологические отложения практически невозможно.

Исследования в области определения пожарной опасности тонких пленок горючих жидкостей, а также и аналитическое изучение воспламенения пленок органических жидкостей, двухфазных сред и конденсированных веществ свидетельствуют о существовании толщины слоя горючего вещества, не способного к воспламенению. Такой слой называется *критическим по условиям воспламенения*. При разработке критериев предельно допустимой пожарной нагрузки (ПДПН) анализируются следующие условия пожарной безопасности:

1) допускается возможность локального горения на определенной площади в течение времени, не создающего воздействия опасных факторов пожара на людей, с нормированной вероятностью и не наносящего повреждений технологическому аппарату;

2) исключается возможность возникновения и распространения горения по поверхности горючих остатков.

Предварительные расчеты по методике, разработанной применительно к замкнутым помещениям с различной степенью герметизации, выполненной проф. Ю.А. Кошмаровым, доц. И.Д. Гусько и В.Г. Лимоновым, подтвердили возможность образования вакуума на стадии затухания горения.

Исходя из анализа результатов исследований, можно сделать выводы, что при кратковременном горении внутри технологического оборудования создаются условия затухания и образуется вакуум порядка 200 кПа, что может привести к повреждению технологических аппаратов. Поэтому при обосновании ПДПН целесообразно исходить из принципа исключения возможности возникновения и распространения горения по поверхности горючих органических остатков.

В качестве критерия оценки готовности резервуара к огневым работам принимают невоспламеняемую толщину слоя технологических остатков. Для определения толщины слоя органических остатков применяют специальные приборы толщиномеры, а при их отсутствии используется весовой метод. Весовой метод оценки поверхности позволяет путем взвешивания органических остатков, снятых с единицы площади поверхности, определить толщину остаточного слоя.

Количественно ПДПН представляет собой массу нефтеостатка, находящуюся на единице площади загрязненной поверхности. Величина ПДПН связана с $\delta_{кр}$ соотношением:

$$m_{ПДПН} \leq \frac{\rho_{н} \delta_{кр}}{K_{б.м}} \quad (10.10)$$

Условие пожаробезопасности (10.2) запишется в виде:

$$m_{ост} \leq m_{ПДПН} \quad (10.11)$$

где $m_{ост}$ - остаточная загрязненность поверхности; $m_{ПДПН}$ - ПДПН.

Налипаемость горючих жидкостей на вертикальную стенку в процессе опорожнения составляет в среднем $(5,0-100)10^{-3}$ кг/м². Воспламенение паров жидкости от источника зажигания возможно при условии $\varphi_s > \varphi_n$. В случае $\varphi_s < \varphi_n$, требуется дополнительная энергия для разогрева нефтепродукта и повышения φ_s .

Уравнение теплового баланса имеет следующий вид:

$$dQ = dQ_1 + dQ_2 + dQ_3 + dQ_4 \quad (10.12)$$

где Q - количество теплоты, подведенной к элементарной площадке; Q_1 - количество теплоты, аккумулированное в слое нефтепродукта; Q_2 и Q_3 - количество теплоты, отведенное к нефтепродукту и теплопроводному материалу; Q_4 - теплота испарения.

Раскрывая значения составляющих, получаем:

$$q_{\text{ин}} d\tau = \rho dV C_p (T_{\text{вос}} - T_0) + 2\pi r \delta \lambda \left(-\frac{dT}{dr} \right) d\tau + \pi r^2 \lambda \left(-\frac{dT}{d\delta} \right) d\tau + \Delta H_m M \delta d\tau. \quad (10.13)$$

Воспламенение пленок наступает при $T \approx T_{\text{вос}}$, В рассматриваемом случае $\Delta T = T_{\text{вос}} - T_0$ разница температур незначительна, поэтому в выводе можно допустить постоянство C_p и λ . Произведем преобразования на основе теоретических положений расчета огнепреградителей, разработанных акад. Д. Б. Зельдовичем и А.С. Соколиком. В преобразованиях допускаем равенство $\delta = r$, так как критическая невоспламеняемая толщина слоя нефтепродукта мала и колеблется от долей миллиметра до нескольких миллиметров. Уравнение (10.13) запишем в форме

$$(q_{\text{ин}} - \Delta H_m M) d\tau = 2\pi r_p (T_{\text{вос}} - T_0) d\delta^3 + 3\pi \delta \lambda (T_{\text{вос}} - T_0) d\tau. \quad (10.14)$$

Решение уравнения (10.14) имеет вид

$$\tau = \frac{\rho C_p}{\lambda} \left[(\delta - q/b)^2 - (\delta_{\text{кр}} - q/b)^2 + (2q/b) \ln \frac{(\delta_{\text{кр}} - q/b)}{\delta - q/b} \right], \quad (10.15)$$

где $q = q_{\text{ин}} - \Delta H_m M$; $b = 3\pi \lambda (T_{\text{вос}} - T_0)$.

Расчет по формуле (10.15) требует определения значения $\delta_{\text{кр}}$. Рассмотрим уравнение теплового баланса при горении тонкого слоя нефтепродукта, которое применительно к стационарному процессу можно представить в виде:

$$\beta \Delta H_z = (\lambda_n / \delta) (T_n - T_0) + \rho_n \Delta H_f \frac{d_\delta}{d_t}, \quad (10.16)$$

где β - доля теплоты, поступающей к слою нефтепродукта.

Составим безразмерные параметры:

$$Y = \frac{\delta(\tau)}{\delta_0}, \quad \theta = \frac{\tau \Delta H_z}{\Delta H_m \delta_0 \rho_n}, \quad \check{Nu} = \frac{\delta_0 \Delta H_z}{\lambda_n (T_n - T_0)}. \quad (10.17)$$

Параметр Y представляет собой безразмерную толщину слоя; θ - безразмерное время горения слоя, а безразмерный параметр \check{Nu} характеризует долю аккумулированного в тонком слое углеводородных отложений тепла. Приведем уравнение (10.16) к безразмерному виду

$$\beta \check{Nu} - \frac{1}{Y} = \check{Nu} \frac{dY}{d\theta}. \quad (10.18)$$

Разделяя переменные, получаем

$$d\theta = \check{Nu} Y dY / (\beta \check{Nu} Y - 1). \quad (10.19)$$

Проинтегрируем выражение (10.19) и получим

$$\theta = (Y - 1) / \beta + 1/(\beta^2 \check{Nu}) \ln |(\beta \check{Nu} Y - 1) / (\beta \check{Nu} - 1)|, \quad (10.20)$$

где $\check{Nu} \neq 1/\beta$ - область существования решений для полученного уравнения.

Величина параметра \check{Nu} возрастает с увеличением продолжительности горения слоя нефтепродукта. В свою очередь, время горения возрастает с увеличением начальной толщины слоя нефтепродукта. Горение тонких слоев нефтепродуктов наблюдалось при $\check{Nu} \geq 43$. По мере уменьшения начальной

толщины слоя нефтеостатка δ_0 время выгорания слоя уменьшается. При этом параметр Nu стремится к критической величине $Nu_{кр}$, характеризующей срыв горения или вырожденный режим зажигания. С уменьшением толщины слоя для поддержания горения из-за увеличения теплоотвода требуется увеличение доли его подвода к поверхности слоя, что приведет к снижению температуры во фронте горения, $\beta \rightarrow 1/Nu_{кр}$ характеризует предельную величину снижения температуры в зоне химической реакции, при которой будет происходить срыв горения.

Таким образом, решение уравнения (10.20) при $Nu \approx Nu_{кр} \rightarrow 1/\beta$ можно записать в виде

$$\delta_{кр} = \frac{Nu_{кр} \lambda (T_n - T_0)}{\Delta H_s} \quad (10.21)$$

Время возникновения горения при контакте с источником зажигания можно рассчитать по формуле (10.15), q - по формуле (10.26).

$$M_{пдшт} = 43 \frac{\rho_n \lambda_n (T_m - T_0)}{K_{б.м} \Delta H_s} \quad (10.22)$$

Наиболее близкие результаты расчетов к экспериментальным данным получаются по расчетной формуле (10.22). Эта формула, кроме того, является наиболее простой и удобной для использования. Входящие в формулу (10.22) значения определяют по справочным данным.

Коэффициент безопасности $K_{б.м}$ принят на основе результатов исследований равным 10.

Пожароопасные характеристики огневых работ

Наиболее распространенными и пожароопасными видами огневых работ являются электрическая и газовая сварка (резка) металла корпуса технологического аппарата.

Мощность источника зажигания $q_{из}$ при электросварочных работах можно рассчитать по характеристикам режима сварки

$$q_m^* = I_p U \zeta \phi, \quad (10.23)$$

где I_p - сила тока; U - падение напряжения на дуге; ζ , - коэффициент полезного действия, 0,5-0,85 (для ручной дуговой сварки); ϕ - коэффициент, учитывающий влияние, оказываемое несинусоидальностью кривых напряжения и тока на мощность дуги. При сварке на постоянном токе $\phi = 1$, на переменном токе - $\phi = 0,7-0,95$. Величина U принимается равной 20-36 В. Сила тока в зависимости от диаметра электрода и толщины свариваемого металла может колебаться в пределах 50-350 А. При резке сила тока увеличивается на 20-30 %.

Эффективная тепловая мощность пламени газовой горелки определяется по формуле

$$q_m^{20} = 10^3 \zeta K_n V_s, \quad (10.24)$$

где ζ - коэффициент полезного действия, $\zeta = 0,25-0,8$; K_n - безразмерный коэффициент, $K_n = 0,84$; V_s - расход газа (ацетилена), м³/ч.

Расход ацетилена K , при толщине разогреваемого металла от 1 до 300 мм колеблется от 0,45 до 1,2 м³/ч.

Температура, до которой нагреваются отдельные точки околошовной зоны, изменяется от температуры плавления металла до температуры окружающей среды. Распределение тепловой нагрузки, формируемой при электрической сварке (резке) в зоне термического влияния радиусом $2,4 \cdot 10^{-2}$ м характеризуется температурами на ее границе 200-300 °С, что близко к температурам самовоспламенения нефти. Удельный тепловой поток q_m убывает с удалением от центра пятна и может быть найден по формуле

$$q_r = q_{2m} \exp(-kr^2), \quad (10.25)$$

где q_m - удельный тепловой поток в зоне теплового пятна радиусом r ; q_{2m} - максимальный тепловой поток; k - коэффициент сосредоточенности теплового пятна.

Величину максимального теплового потока в центре пятна определяют по формуле

$$q_{2m} = q_m^{20} K/\pi. \quad (10.26)$$

Подставив в формулу (10.25) значения формул (10.26) и (10.24), получим, что удельный тепловой поток в зоне теплового пятна радиусом r

$$q_r = (K/\pi) I_p U \zeta \phi \exp(-kr^2). \quad (10.27)$$

Коэффициент K по данным для дуговой сварки составляет $1,1 \cdot 10^4$ м⁻², для газовой сварки - $(0,2-0,4) 10^4$ м⁻².

Методика оценки пожарной безопасности

Фактическая толщина горючих остатков определяется весовым методом или с помощью специальных приборов толщиномеров.

Весовой метод предусматривает удаление с определенной площади поверхности (соскабливание, протирка) слоя углеводородных остатков с последующим их взвешиванием на весах. Очевидно, что горение может возникать в любой точке ведения огневых работ, поэтому необходимо регламентировать выбор мест отбора проб. Значение безопасной концентрации следует принимать, исходя из особенностей проведения работ. При работе в противогазе или снаружи технологического аппарата в качестве безопасного значения концентрации можно принять предельно допустимую взрывобезопасную концентрацию (ПДВК), исходя из условия (10.1). В случае отсутствия надежных средств защиты органов дыхания за безопасную концентрацию следует принимать предельно допустимую концентрацию (ПДК) в соответствии с санитарными нормами.

Методика оценки ГШ регламентных и ремонтных огневых работ включает аналитический расчет ПДПН, определение остаточной пожарной нагрузки

(ОПН), контрольный анализ загазованности технологического аппарата, сравнение результатов определения ОПН с ПДПН и газового анализа с ПДВК.

Система обеспечения пожарной безопасности (СОПБ) работ на объектах НГК в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.004-91 должна состоять из следующих трех подсистем: предотвращения пожара (ССП), противопожарной защиты (СПЗ) и организационно-технических мероприятий (ОТМ).

Предотвратив образование горючей среды в газовом пространстве технологического оборудования и (или) источника зажигания, можно избежать пожара. Источниками зажигания при строительстве, эксплуатации, а также при ликвидации аварий и ремонте технологических объектов могут быть:

- искры удара при монтаже и работе вентиляционного оборудования;
- самовозгорание пиррофорных соединений;
- разряды статического электричества при пропарке, мойке и других операциях;
- тепловое проявление электрической энергии при работе электронасосов, компрессоров, вентиляторов, используемых при очистке трубопроводов;
- искры, связанные с работой двигателей внутреннего сгорания;
- атмосферное электричество.

Для оценки уровня ПВБ необходимо знать значения вероятностей (надежности) предотвращения источника зажигания $P_{из}$ и невоспламенения горючей смеси $P_{гс}$.

Вероятность существования (предотвращения) источника зажигания можно определить, исходя из значений нормативной вероятности предотвращения пожара P_{σ} и $P_{гс}$, по формуле

$$P_{из} \geq 1 - \frac{1 - P_{\sigma}}{1 - P_{гс}} \quad (10.28)$$

Вероятность предотвращения образования (невоспламенения) горючей смеси в период ликвидации аварий или предремонтной подготовки технологического аппарата определяется по формуле

$$P_{гс} \geq 1 - \frac{K}{\tau_{об}} \sum_{i=1}^m \tau_i, \quad (10.29)$$

где τ_i - продолжительность существования горючей смеси при i -й операции; $\tau_{об}$ - общее время технологических операций по предремонтной подготовке; m - количество операций.

При проведении огневых работ вероятность источника зажигания допустимо принимать равной нулю.

Вероятность предотвращения пожара $P_{п.п}$ в данном случае можно определить по формуле

$$P_{п.п} \geq P_{гс} \left(1 - \frac{n_0 Q_s^* K_p}{N} \right), \quad (10.30)$$

где n_0 - число рабочих, подвергшихся воздействию ОФП; (Q_s^* - нормативная вероятность воздействия ОФП (в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.004-91 допустимо принимать равной 10^{-6}); N - число технического

персонала в бригаде; K_p - количество обслуживаемых объектов в год одной бригадой.

Коэффициенты безопасности могут быть определены, исходя из максимальных флуктуации концентрации (снижение или увеличение концентраций в ходе проведения технологических операций), неравномерности распределения паров (газов) углеводородов (кислорода или флегматизатора) в газовом пространстве, погрешности газового анализа и точности определения показателя пожарной опасности.

Для определения коэффициентов безопасности необходимы экспериментальные исследования закономерностей распределения концентраций в газовом пространстве технологического аппарата при проведении операций по предремонтной подготовке технологического объекта. Погрешность определения показателя пожарной опасности может быть оценена в соответствии с ГОСТ 12.1.004-91. Погрешность газового анализа определяется из паспортных данных газоанализаторов и точности их градуировки.

Методика оценки уровня ПVB включает в себя:

- расчет длительности взрывоопасного периода каждой стадии технологии ликвидации аварии или предремонтной подготовки;

- оценку суммарного времени технологии ликвидации аварии или предремонтной подготовки;

- определение вероятности предотвращения горючей среды и источника зажигания;

- оценку численности аварийной бригады и частоты проведения технологических операций;

- расчет вероятности предотвращения пожара.

Практическое использование указанной методики требует разработки комплексной системы ПТТ с учетом требований интенсификации производства и экологической безопасности и детального исследования пожаровзрывобезопасности основных технологических операций.

Контрольные вопросы

Основополагающие принципы обеспечения пожарной безопасности.

Способы обеспечения пожаровзрывобезопасности (ПVB) при производстве огневых ремонтных работ.

С помощью каких технологических операций осуществляется предремонтная подготовка технологического оборудования?

Условия обеспечения ПVB с помощью 1-го метода.

Условия обеспечения ПVB с помощью 3-го методом.

Способы изоляции источника зажигания от горючей среды.

Какой слой горючих отложений называется критическим по условиям воспламенения?

Какой параметр принимают в качестве критерия готовности технологического аппарата к ремонтным работам?

Физический смысл уравнения теплового баланса и входящих в него параметров.

Методика оценки обеспечения ПВБ регламентных и ремонтных работ.

Основные источники зажигания при ремонте технологического оборудования.

Методика определения вероятности существования (предотвращения) источника зажигания, горючей среды и предотвращения пожара.

Что включает в себя методика оценки уровня ПВБ?

ЛИТЕРАТУРА

ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования.

ГОСТ 12.3.047-98 Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.

Назаров В.П. Обеспечение пожарной безопасности огневых ремонтных работ на технологическом оборудовании (лекция). - М.: ВИПТШ МВД РФ, 1992.