

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

Академия Государственной противопожарной службы

С. А. Горячев, С. В. Молчанов, В. П. Назаров,
Л. Т. Панасевич, А. П. Петров, В. В. Рубцов,
С. А. Швырков

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Часть 2

Анализ пожарной опасности и защиты технологического оборудования

Под общей редакцией
доктора технических наук, профессора
В. П. Назарова,
кандидата технических наук, старшего научного сотрудника
В. В. Рубцова

Допущено Министерством Российской Федерации
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий в качестве
учебника для высших образовательных учреждений
МЧС России

Москва 2007

УДК 075.32:614.84
ББК 35.11
П46

Р е ц е н з е н т ы:

Доктор технических наук, академик НАН ПБ
заместитель начальника ФГУ ВНИИПО МЧС России

А. В. Матюшин

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник
заместитель начальника УГПН МЧС России

А. Н. Гилетич

Доктор технических наук, заслуженный деятель науки РФ
профессор РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина

М. В. Лурье

П46 Пожарная безопасность технологических процессов. Ч. 2.
Анализ пожарной опасности и защиты технологического оборудования:
Учебник / С. А. Горячев, С. В. Молчанов, В. П. Назаров и др.; Под общ.
ред. В. П. Назарова и В. В. Рубцова. – М.: Академия ГПС МЧС России,
2007. – 221 с.

ISBN

В учебнике приведены основные положения методики анализа пожарной опасности технологического процесса, осуществляемого на объекте производственного назначения, при нормальном режиме эксплуатации оборудования, его ремонте и аварийных ситуациях. Особое внимание уделено мерам пожарной профилактики и защиты технологического оборудования.

Предназначен для курсантов и слушателей высших образовательных учреждений пожарно-технического профиля МЧС России и студентов вузов, выпускающих инженеров пожарной безопасности, а также для инженерно-технических работников и специалистов.

Введение написано канд. техн. наук, ст. науч. сотр. В. В. Рубцовым; гл. 1 – канд. техн. наук, проф. С. А. Горячевым, д-р техн. наук, проф. В. П. Назаровым, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. В. В. Рубцовым; гл. 2 и 6 – канд. техн. наук, проф. С. А. Горячевым; гл. 5. канд. техн. наук, проф. С. А. Горячевым, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. В. В. Рубцовым; гл. 3, 4 – канд. техн. наук С. А. Швырковым; гл. 7 – инж. С. В. Молчановым и канд. техн. наук С. А. Швырковым; гл. 8 – д-р техн. наук, проф. А. П. Петровым, инж. Л. Т. Панасевич; гл. 9 – инж. Л. Т. Панасевич и канд. техн. наук С. А. Швырковым; гл. 10 – д-р. техн. наук, проф. В. П. Назаровым.

УДК 075.32:614.84

ББК 35.11

ISBN

© Академия Государственной противопожарной
службы МЧС России, 2007

Глава 1

ОЦЕНКА ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТИ СРЕДЫ ВНУТРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1.1. 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

$$G = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{m_{i \text{ пр}}}, \quad (1.1)$$

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 $m_{\text{пр}} = 50$ 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.

1.2. 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 $1 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1} \geq R \geq 1 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$ и $1 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1} \geq S \geq 1 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$ 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.

1.3. 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.

1.4. 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.

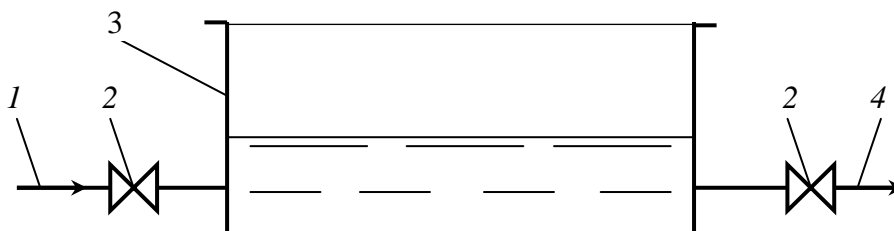


Рис. 1.1. Схема открытого аппарата:
1 – подводящая линия; 2 – задвижки;
3 – корпус аппарата; 4 – отводящая линия

«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).

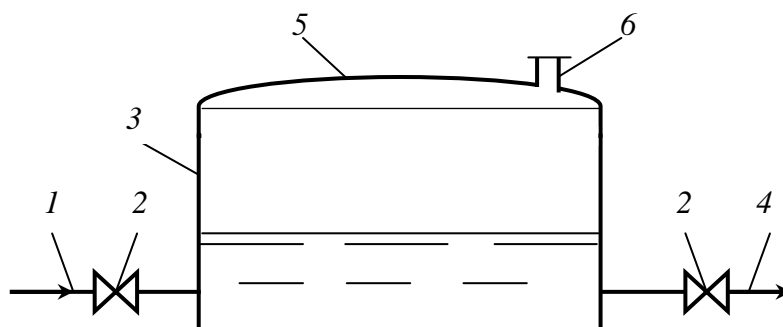


Рис. 1.2. Схема «дышащего» аппарата:
1–4 – см. рис. 1.1; 5 – крыша; 6 – дыхательный патрубок

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 подсасывание 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.

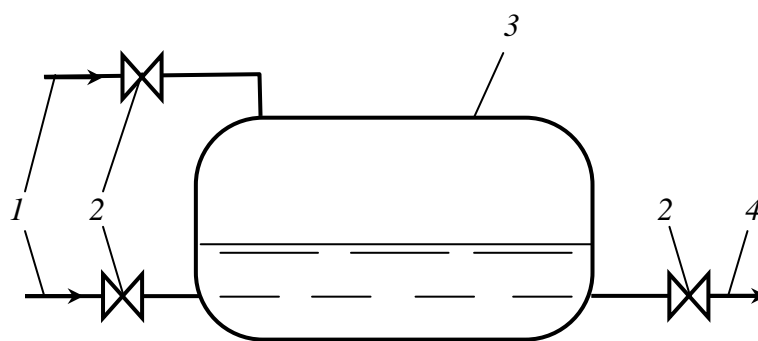


Рис. 1.3. Схема герметичного аппарата:
1-4 – см. рис. 1.1

При выборе типа аппарата руководствуются в первую очередь агрегатным состоянием обращающихся в технологическом процессе веществ и материалов и их классом опасности (токсичностью, пожаровзрывоопасностью). 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 (кускового, 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

$$\varphi_{\text{н}} \leq \varphi_{\text{р}} \leq \varphi_{\text{в}} , \quad (1.2)$$

где $\varphi_{\text{н}}$ и $\varphi_{\text{в}}$ – соответственно нижний и верхний концентрационные пределы распространения пламени; $\varphi_{\text{р}}$ – 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.

1.5. 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:

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

где V_{Γ} и $V_{\text{ок}}$ – объемы соответственно горючего газа и окислителя в аппарате, м^3 ; G_{Γ} и $G_{\text{ок}}$ – объемные расходы компонентов, $\text{м}^3/\text{с}$.

Значения $\varphi_{\text{н}}$ и $\varphi_{\text{в}}$ индивидуальных газов в воздухе при атмосферном давлении и температуре $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 $\varphi_{\text{н}}$ и $\varphi_{\text{в}}$ 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 допускаемых 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:

$$\varphi_{\text{р.н}}^{\text{без}} \leq 0,9 (\varphi_{\text{н}} - 0,0021) \quad (1.4)$$

или

$$\varphi_{\text{р.в}}^{\text{без}} \geq 1,1 (\varphi_{\text{в}} + 0,0042), \quad (1.5)$$

где $\varphi_{\text{р.н}}^{\text{без}}$ и $\varphi_{\text{р.в}}^{\text{без}}$ – 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_n и φ_v 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:

$$p_p^{\text{без}} \leq p_{\text{пр}} / K_{\text{б.р}}, \quad (1.6)$$

где $p_p^{\text{без}}$ – безопасное рабочее давление среды в аппарате; $p_{\text{пр}}$ – предельно допустимое остаточное давление смеси; $K_{\text{б.р}}$ – 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

$$\text{ПДВК}_\phi = K_{\text{б.}\phi} \varphi_\phi, \quad (1.7)$$

где $K_{\text{б.}\phi}$ – коэффициент безопасности (запаса надежности), без учета погрешностей газового анализа и неравномерности распределения концентраций, принимаемый следующим образом:

при $\varphi_\phi > 0,15$ об. долей $K_{\text{б.}\phi} = 1,2$;

при $\varphi_\phi \leq 0,15$ об. долей $K_{\text{б.}\phi} = 1,6$;

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:

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

где $\varphi_{\phi_{O_2}}$ – минимальное содержание кислорода в смеси (МВСК), об. доли; величину $\varphi_{\phi_{O_2}}$ можно найти по справочнику, а при отсутствии данных – определить по формуле

$$\varphi_{\phi_{O_2}} \approx \beta \varphi_{\phi},$$

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:

$$\varphi_{p.\phi} \geq \text{ПДВК}_{\phi}, \quad (1.9)$$

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.

1.6. 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.

1.6.1. 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 $\Delta t_{\text{б.в}} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$ – 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, $^\circ\text{C}$	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.).

1.6.2. «Дышащие» аппараты

В свободном (паровоздушном) пространстве «дышащих» аппаратов с ЛВЖ и ГЖ взрывоопасные концентрации образуются в том случае, если выполняется соотношение $\varphi_n \leq \varphi_p \leq \varphi_v$. 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:

$$t_{нп} \leq t_p \leq t_{вп}, \quad (1.12)$$

где $t_{\text{ни}}$ и $t_{\text{вп}}$ – 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:

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

или

$$t_{\text{р.в}}^{\text{без}} \geq \frac{B}{A - \lg[1,1 \cdot 10^{-3}(\varphi_{\text{в}} + 0,0042) p_0]} - C_A, \quad (1.14)$$

где $t_{\text{р.н}}^{\text{без}}$ и $t_{\text{р.в}}^{\text{без}}$ – взрывобезопасные рабочие температуры горючей жидкости в аппарате, °С; A, B, C_A – константы уравнения Антуана; p_0 – 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 $\varphi_{\text{р1}}$) и снижение концентрации значительно ниже значения $\varphi_{\text{р.н}}^{\text{без}}$, соответствующего температуре $t_{\text{р.н}}^{\text{без}}$, что гарантирует еще большую взрывобезопасность. Во втором случае, когда выполняется условие (1.14), происходит разбавление воздухом «богатой» негорючей смеси (например, состава $\varphi_{\text{р2}}$) и снижение концентрации до значения $\varphi_{\text{в}}$ и ниже с образованием взрывоопасной смеси. Схема процессов разбавления смесей воздухом показана на рис. 1.5.

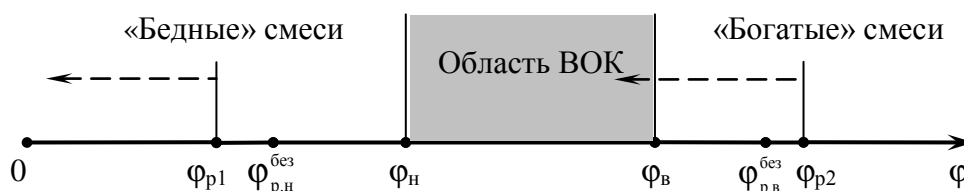


Рис. 1.5. Схема образования ВОК в «дышащем» аппарате:
 φ – содержание горючего компонента в паровоздушной смеси;
 \leftarrow – направление изменения концентрации паров в паровоздушной смеси при ее разбавлении воздухом

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).

1.6.3. 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: $\varphi_n \leq \varphi_p \leq \varphi_v$.

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

- отсутствует свободное пространство;

- $\varphi_{p,n}^{без} \leq 0,9 (\varphi_n - 0,0021)$ или $\varphi_{p,v}^{без} \geq 1,1 (\varphi_v + 0,0042)$.

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.

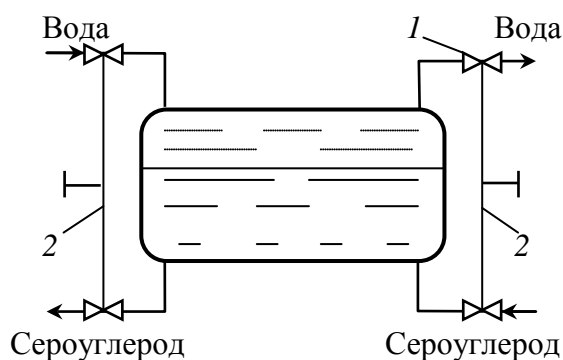


Рис. 1.6. Схема обвязки аппарата для хранения сероуглерода под слоем воды:
1 – задвижки; 2 – привод задвижек

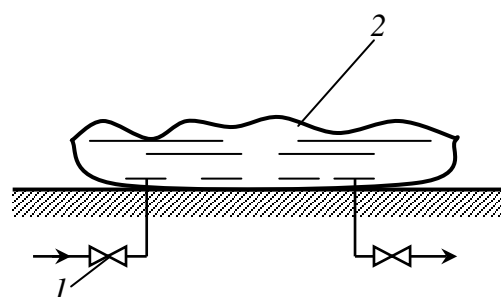


Рис. 1.7. Схема хранилища с эластичными стенками:
1 – задвижки; 2 – эластичная стенка

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 $\varphi_{р.в}^{без} \geq 1,1 (\varphi_v + 0,0042)$.

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).

1.7. 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):

$$\varphi_p \geq \varphi_n , \quad (1.19)$$

где φ_p – рабочая концентрация пыли в аппарате (с учетом осевшей пыли); φ_n – 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:

$$\varphi_p^{\text{без}} \leq \varphi_n / K_{\text{б.н}} , \quad (1.20)$$

где $K_{\text{б.н}}$ – коэффициент безопасности; обычно принимают $K_{\text{б.н}} \geq 2$.

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

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, хлористыми 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.

1.8. 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 $\varphi_{\text{нач}} = 0$, а на момент окончания продувки $\tau_{\text{кон}}$ концентрация инертного газа в аппарате $\varphi_{\text{кон}}$ равна:

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

$$\tau_{\text{кон}} = -\frac{V}{q} \ln \frac{1-\varphi_{\text{кон}}}{1} = \frac{V}{q} \ln \frac{1}{1-\varphi_{\text{кон}}}.$$

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

$$\tau_{\text{кон}} = \frac{VK_{\text{H}}}{q} \ln \frac{1}{1-\varphi_{\text{ф}}^{\text{без}}}, \quad (1.22)$$

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

$$\varphi_{ф.р} \geq \varphi_{ф}^{без}. \quad (1.24)$$

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 проведение огневых ремонтных работ или имеется опасность появления иных источников зажигания, то $K_{б.н} \geq 20$; 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

1. Какие принципы обеспечения пожарной безопасности изложены в ГОСТ 12.1.004–91?
2. Какие общие требования по обеспечению пожарной безопасности технологических процессов изложены в ГОСТ Р 12.3.047–98?
3. Как классифицируются технологические процессы согласно ГОСТ Р 12.3.047–98?
4. Что такое критерий аддитивности и для чего его определяют?
5. К какому виду относится технологический процесс, для которого критерий аддитивности больше или равен 1?
6. К какому виду относится технологический процесс, для которого критерий аддитивности меньше 1?
7. Что такое пороговое количество опасного вещества и для каких классов веществ оно установлено?
8. В чем заключается сущность анализа пожарной опасности технологического процесса повышенной опасности?
9. В каком случае считается безусловно выполненной пожарная безопасность технологического процесса повышенной опасности?
10. В каком случае эксплуатация технологического процесса повышенной опасности является недопустимой?
11. Что требуется предпринять, если риски при эксплуатации технологического процесса повышенной опасности превышают допустимые значения?
12. В каком случае допускается использовать иные критерии пожарной безопасности технологического процесса, отличные от рисков?
13. Какие иные критерии, отличные от рисков, допускается использовать для оценки пожарной безопасности технологического процесса?
14. В чем заключается сущность анализа пожарной опасности технологического процесса, отличного от процесса повышенной опасности?
15. Укажите типы технологических аппаратов в зависимости от степени их герметизации.
16. Как влияют свойства перерабатываемого вещества на выбор типа аппарата?
17. Поясните общее условие образования ВОК в технологическом оборудовании.
18. В каких случаях в аппаратах с горючими газами образуются ВОК?
19. Напишите условие образования ВОК в аппарате с горючим газом и поясните его.
20. Как можно определить рабочую концентрацию ГГ в аппарате?

21. Зачем при определении безопасной концентрации горючего вещества в аппарате вводят коэффициент запаса надежности?
22. Напишите условия взрывобезопасной эксплуатации аппарата с ГГ и поясните их.
23. Перечислите основные способы обеспечения взрывобезопасной эксплуатации герметичных аппаратов с ГГ.
24. Какие инертные газы применяются для флегматизации среды в аппаратах?
25. Как определить расчетом предельно допустимую взрывобезопасную концентрацию флегматизатора?
26. Как обеспечивают безопасные условия эксплуатации аппаратов с ГГ, работающих под вакуумом?
27. Как обеспечивают безопасные условия эксплуатации аппаратов, горючие смеси в которых по условиям технологии нельзя флегматизировать инертными газами?
28. Напишите условие взрывоопасности при эксплуатации открытого аппарата с ЛВЖ и поясните его.
29. Напишите условие взрывобезопасности при эксплуатации открытого аппарата с ЛВЖ и поясните его.
30. Перечислите способы и технические решения обеспечения пожаровзрывобезопасной эксплуатации открытых аппаратов с ЛВЖ и ГЖ.
31. Напишите условие образования ВОК в аппарате с неподвижным уровнем длительно хранящейся ЛВЖ и поясните его.
32. Напишите взрывобезопасные температурные условия эксплуатации аппаратов с неподвижным уровнем ЛВЖ и поясните их.
33. Напишите условия образования ВОК в «дышащем» аппарате с подвижным уровнем ЛВЖ и поясните их.
34. Напишите взрывобезопасное температурное условие эксплуатации аппарата с подвижным уровнем ЛВЖ и поясните его.
35. Перечислите основные способы обеспечения взрывобезопасности «дышащих» аппаратов с ЛВЖ и ГЖ.
36. Поясните причины и условия образования ВОК в герметичных аппаратах с ЛВЖ и ГЖ.
37. Напишите условия обеспечения взрывобезопасности при эксплуатации герметичных аппаратов с ЛВЖ и ГЖ и поясните их.
38. Перечислите основные способы обеспечения взрывобезопасной эксплуатации герметичных аппаратов с ЛВЖ и ГЖ.
39. Поясните условие перехода осевшей пыли во взвешенное состояние.

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

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

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

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

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

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

ЛИТЕРАТУРА

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

2. Федеральный закон «О пожарной безопасности».

3. ГОСТ 12.1.004–91 Пожарная безопасность. Общие требования.

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

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

6. НПБ 23–2001 Пожарная опасность технологических сред. Номенклатура показателей.

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

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

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

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Глава 1. ОЦЕНКА ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТИ СРЕДЫ ВНУТРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	5
1.1. Требования нормативных документов по обеспечению пожарной безопасности технологических процессов	5
1.2. Анализ пожарной опасности технологических процессов повышенной опасности	6
1.3. Анализ пожарной опасности технологических процессов, отличных от процессов повышенной опасности	7
1.4. Общее условие образования взрывоопасных концентраций в технологических аппаратах.....	9
1.5. Анализ возможности образования ВОК в аппаратах с горючими газами и способы обеспечения пожарной безопасности.....	12
1.6. Анализ возможности образования ВОК в аппаратах с горючими жидкостями и способы обеспечения пожарной безопасности	16
1.6.1. Открытые аппараты	16
1.6.2. «Дышащие» аппараты	17
1.6.3. Герметичные аппараты.....	20
1.7. Анализ возможности образования ВОК в аппаратах с твердыми горючими материалами и способы обеспечения пожарной безопасности	21
1.8. Анализ возможности образования ВОК в технологическом оборудовании при пуске его в работу и остановке на осмотр или ремонт и способы обеспечения пожарной безопасности.....	23
Контрольные вопросы	26
ЛИТЕРАТУРА	28
Глава 2. ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ ВЫХОДА ГОРЮЧИХ ВЕЩЕСТВ ИЗ НОРМАЛЬНО РАБОТАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АППАРАТОВ	29
2.1. Пожарная опасность выхода горючих газов из аппаратов и способы обеспечения пожарной безопасности.....	29
2.1.1. Открытые и «дышащие» аппараты	29
2.1.2. Герметичные аппараты	30
2.2. Пожарная опасность выхода паров ЛВЖ и ГЖ из аппаратов и способы обеспечения пожарной безопасности	32
2.2.1. Открытые аппараты.....	32
2.2.2. «Дышащие» аппараты.....	38
2.3. Пожарная опасность выхода горючих пылей из аппаратов и способы обеспечения пожарной безопасности	45
2.3.1. Открытые аппараты	47
2.3.2. «Дышащие» аппараты.....	47
2.3.3. Герметичные аппараты.....	48
2.4. Пожарная опасность периодически действующих аппаратов и способы обеспечения пожарной безопасности	48
Контрольные вопросы	50
ЛИТЕРАТУРА	52

Глава 3. ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ ВЫХОДА ГОРЮЧИХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ПОВРЕЖДЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	53
3.1. Классификация аварий и повреждений технологического оборудования на производственных объектах.....	53
3.2. Определение количества горючих веществ, выходящих наружу при локальном повреждении технологического оборудования.....	54
3.2.1. Аппарат с горючей жидкостью.....	54
3.2.2. Аппарат с горючим газом.....	57
3.3. Определение количества горючих веществ, выходящих наружу при полном разрушении технологического оборудования.....	58
3.3.1. Аппарат с горючей жидкостью или сжиженным газом.....	58
3.3.2. Аппарат с горючим газом.....	67
3.4. Определение размеров зон взрывоопасных концентраций в производственных помещениях и на открытых технологических площадках.....	67
3.4.1. Образование зоны ВОК в производственном помещении.....	68
3.4.2. Образование зоны ВОК на производственной площадке.....	70
3.5. Способы обеспечения пожарной безопасности на производственных объектах.....	73
Контрольные вопросы.....	75
ЛИТЕРАТУРА.....	76
Глава 4. ПРИЧИНЫ ПОВРЕЖДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	77
4.1. Повреждения технологического оборудования в результате механических воздействий.....	78
4.2. Повреждения технологического оборудования в результате температурных воздействий.....	86
4.3. Повреждения технологического оборудования в результате химических воздействий.....	89
Контрольные вопросы.....	95
ЛИТЕРАТУРА.....	95
Глава 5. КАТЕГОРИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ, ЗДАНИЙ И НАРУЖНЫХ УСТАНОВОК ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ	96
5.1. Назначение систем категорирования помещений, зданий и наружных установок.....	96
5.2. Категорирование помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности.....	97
5.2.1. Классификация категорий помещений.....	97
5.2.2. Критерии категорирования помещений.....	99
5.2.3. Выбор и обоснование расчетного варианта.....	99
5.2.4. Количественная оценка критериев категорирования помещения.....	100
5.2.5. Определение категории помещения.....	105
5.2.6. Критерии категорирования здания (пожарного отсека).....	105
5.2.7. Количественная оценка критериев категорирования здания (пожарного отсека).....	105
5.2.8. Определение категории здания (пожарного отсека).....	106

5.3. Категорирование наружных установок по пожарной опасности	106
5.3.1. Классификация категорий наружных установок.....	107
5.3.2. Критерии пожарной опасности	108
5.3.3. Выбор и обоснование расчетного варианта	108
5.3.4. Количественная оценка критериев пожарной опасности	108
5.3.5. Определение категории наружной установки	111
Контрольные вопросы	112
ЛИТЕРАТУРА	113
Глава 6. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЗАЖИГАНИЯ	
И ЗАЩИТА ОТ НИХ.....	114
6.1. Классификация производственных источников зажигания	114
6.1.1. Вынужденное воспламенение горючей среды.....	114
6.1.2. Самовоспламенение и самовозгорание горючих веществ.....	115
6.1.3. Идентификация вынужденного воспламенения и самовозгорания.....	116
6.2. Нормативные требования по предотвращению образования в горючей среде (или внесения в нее) источников зажигания.	117
6.3. Тепловое проявление химической энергии.....	118
6.3.1. Пожарная опасность процессов сжигания топлива и способы обеспечения пожарной безопасности.....	118
6.3.2. Пожарная опасность процессов самовоспламенения и самовозгорания веществ и материалов и способы обеспечения пожарной безопасности.....	124
6.4. Тепловое проявление механической энергии	129
6.4.1. Пожарная опасность искр удара и трения и способы обеспечения пожарной безопасности	129
6.4.2. Пожарная опасность узлов трения машин и способы обеспечения пожарной безопасности	134
Контрольные вопросы	143
ЛИТЕРАТУРА	145
Глава 7. ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА ПУТЕМ ОГРАНИЧЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ГОРЮЧИХ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ.....	146
7.1. Анализ причин и условий, способствующих развитию пожара на производственных объектах. Причины перерастания начавшегося пожара в крупный пожар	146
7.2. Мероприятия, позволяющие уменьшить количество горючих веществ и материалов в производстве	147
7.2.1. Снижение количества горючих веществ на стадии проектирования производства	147
7.2.2. Снижение количества горючих веществ в период нормальной эксплуатации производства.....	149
7.3. Эвакуация горючих веществ и материалов при авариях и пожарах на производстве	150
7.3.1. Аварийный слив ЛВЖ и ГЖ. Методика расчета самотечного слива и слива под избыточным давлением. Меры обеспечения пожарной безопасности систем аварийных сливов	151
7.3.1.1. Аварийный слив ЛВЖ и ГЖ	151
7.3.1.2. Методика расчета систем аварийного слива	152

7.3.2. Аварийный выпуск горючих газов и паров. Методика расчета систем аварийного стравливания. Меры обеспечения пожарной безопасности систем аварийных выпусков	158
7.3.2.1. Аварийный выпуск горючих газов и паров	158
7.3.2.2. Методика расчета систем аварийного стравливания	160
7.3.2.3. Меры обеспечения пожарной безопасности систем аварийных выпусков	162
Контрольные вопросы	163
ЛИТЕРАТУРА	164
Глава 8. ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА ПО ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ КОММУНИКАЦИЯМ	165
8.1. Предотвращение образования горючих отложений	166
8.1.1. Характеристика отложений и механизм их образования	166
8.1.2. Пожаровзрывоопасность горючих отложений, образующихся в производственных коммуникациях и меры профилактики	168
8.2. Защита производственных коммуникаций от распространения пожара	177
8.2.1. Сухие огнепреградители. Определение критического диаметра канала	177
8.2.2. Жидкостные огнепреградители (гидравлические затворы), особенности использования на газовых и жидкостных линиях	181
8.2.3. Быстродействующие пламеотсекатели	183
8.2.4. Затворы из измельченных материалов	185
8.2.5. Защита воздухопроводов заслонками и задвижками	186
Контрольные вопросы	187
ЛИТЕРАТУРА	188
Глава 9. ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА ПРИ РАЗРУШЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	189
9.1. Опасность взрывного повышения давления среды в технологическом оборудовании	189
9.2. Способы защиты технологического оборудования от разрушения при взрыве	190
9.2.1. Виды мембранных предохранительных устройств	191
9.2.2. Расчет предохранительных мембран на заданное давление срабатывания	193
9.2.2.1. Срок службы предохранительных мембран	195
9.2.3. Расчет площади сбросных отверстий	196
9.3. Устройства по ограничению аварийного растекания ЛВЖ и ГЖ	198
Контрольные вопросы	204
ЛИТЕРАТУРА	205
Глава 10. ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ОГНЕВЫХ РЕМОНТНЫХ РАБОТ	206
10.1. Способы и принципы обеспечения пожарной безопасности	206
10.2. Предельно допустимая пожарная нагрузка	209
10.3. Пожароопасные характеристики огневых работ	213
10.4. Методика оценки пожарной безопасности	214
Контрольные вопросы	217
ЛИТЕРАТУРА	217

Учебное издание

Горячев Станислав Анатольевич
Молчанов Сергей Валентинович
Назаров Владимир Петрович
Панасевич Людмила Тихоновна
Петров Анатолий Павлович
Рубцов Владимир Валентинович
Швырков Сергей Александрович

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Часть 2

**Анализ пожарной опасности и защиты
технологического оборудования**

Учебник для вузов

Редактор *Г. А. Науменко*
Технический редактор *Е. Н. Титкова*
Компьютерный набор *С. А. Швыркова*
Корректор *Н. В. Федькова*

Подписано в печать 26.02.2007. Формат 60×90 1/16.
Бумага офсетная. Печ. л. 14. Уч.-изд. л. 10.
Тираж 1000 экз. Цена договорная. Заказ 164

Академия ГПС МЧС России
129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4