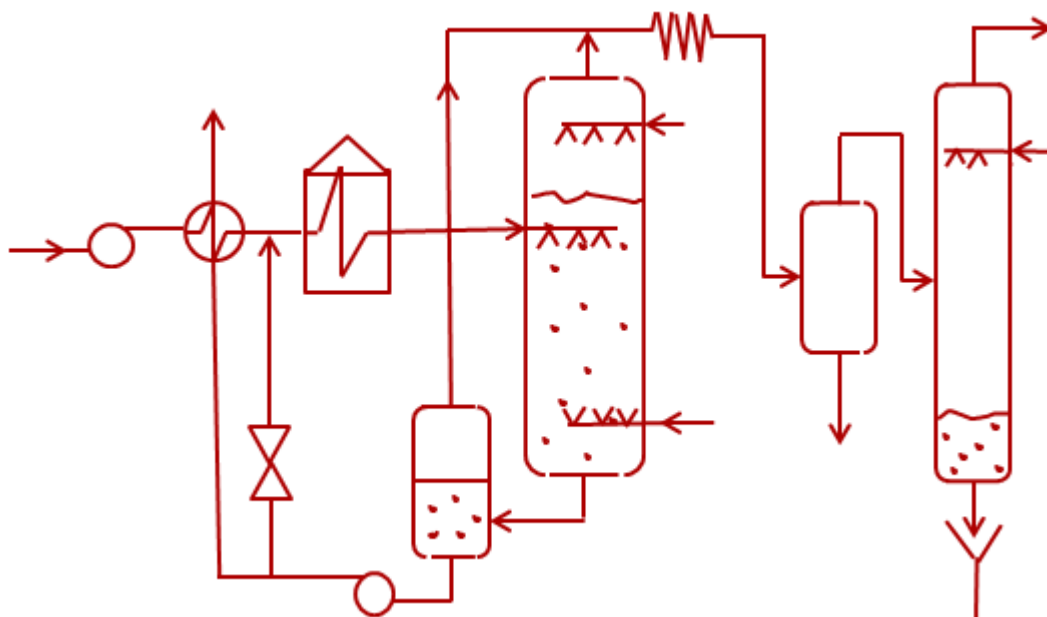


Д. В. Каргашилов, А. П. Паршина, И. А. Иванова

# ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Учебное пособие



Воронеж 2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

**Д. В. Каргашилов, А. П. Паршина, И. А. Иванова**

# **ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Учебное пособие

Воронеж 2021

УДК 614.842.47:658.512(07)  
ББК 68.9:30.606Я7  
К218

**Рецензенты:**

*кафедра специальной подготовки Воронежского института  
повышения квалификации сотрудников ГПС МЧС России (начальник кафедры  
- полковник внутренней службы, к. т. н. А. М. Чуйков);  
А. В. Бондарев, директор автономной некоммерческой организации  
«Противопожарная защита»*

**Каргашилов, Д. В.**

**Пожарная безопасность технологических процессов:** учебное пособие / Д. В. Каргашилов, А. П. Паршина, И. А. Иванова; ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. – 80 с.

ISBN 978-5-7731-0979-2

Приведены теоретические сведения, необходимые для освоения дисциплины «Пожарная безопасность технологических процессов». Даются ссылки на регламентирующие документы и вопросы для проверки сформированности общеобразовательных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций.

Предназначено для студентов специальности 20.05.01 «Пожарная безопасность» и направления подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» профиль «Пожарная безопасность в строительстве» очной и заочной форм обучения.

Ил. 63. Табл. 10. Библиогр.: 7 назв.

**УДК 614.842.47:658.512(07)  
ББК 68.9:30.606Я7**

*Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Воронежского государственного технического университета*

ISBN 978-5-7731-0979-2

© Каргашилов Д. В., Паршина А. П.,  
Иванова И. А., 2021  
© ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
технический университет», 2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	4
<b>1. Теоретические основы пожаровзрывобезопасности технологий производств</b> .....	5
<b>1.1. Введение в курс «Пожарная безопасность технологических процессов»</b> .....	5
<b>1.2. Цели и задачи курса</b> .....	6
<b>1.3. Основные понятия и определения</b> .....	6
<b>Контрольные вопросы</b> .....	10
<b>2. Классификация технологий производств и применяемых аппаратов</b>	10
<b>Контрольные вопросы</b> .....	24
<b>3. Методы анализа пожарной опасности производственного объекта...</b>	24
<b>Контрольные вопросы</b> .....	26
<b>4. Причины образования горючей среды за пределами технологических аппаратов при нормальном режиме работы</b> .....	26
<b>Контрольные вопросы</b> .....	28
<b>5. Причины повреждения технологических аппаратов с горючими веществами и мероприятия, направленные на их исключение</b> .....	28
<b>Контрольные вопросы</b> .....	34
<b>6. Пожарная опасность образования горючей среды при повреждении технологических аппаратов</b> .....	34
<b>6.1. Определение количества горючих веществ, выходящих наружу при локальном повреждении технологического оборудования</b> .....	38
<b>Контрольные вопросы</b> .....	46
<b>7. Условия образования и воздействия производственных источников зажигания на горючую среду</b> .....	47
<b>7.1. Мероприятия, направленные на исключение источников зажигания</b> .....	51
<b>Контрольные вопросы</b> .....	64
<b>8. Ограничение распространения пожара на производстве</b> .....	64
<b>8.1. Мероприятия и технические решения, направленные на снижение количества горючих веществ и материалов, применяемых в производстве</b> .....	65
<b>8.2. Расчёт систем аварийного слива горючих жидкостей самотёком и под избыточным давлением</b> .....	67
<b>8.3. Расчёт систем аварийного стравливания горючих газов и паров</b> .....	70
<b>Контрольные вопросы</b> .....	78
<b>Заключение</b> .....	78
<b>Библиографический список</b> .....	78

## ВВЕДЕНИЕ

Технологические процессы и производственные объекты в целом обладают определенной пожарной опасностью, которая характеризуется пожароопасными свойствами веществ и материалов, обращающихся в технологическом процессе, пожароопасностью технологического оборудования и особенностями технологии.

Учебная дисциплина «Пожарная безопасность технологических процессов» является специальной, профилирующей.

Ее изучение заключается в приобретении: знаний, требований, документов регламентирующих пожарную безопасность технологических процессов; навыков выявления возможности образования горючих сред и появления источника зажигания в технологическом процессе, как при нормальном его режиме, так и при аварии; практических умений проведения инженерных расчетов, определяющих основные параметры возможного развития аварии и ее последствий; умения определять меры противопожарной профилактики для конкретного технологического процесса.

Кроме того, для успешного освоения материала необходимо изучение таких дисциплин, как химия, физика, гидравлика, теория горения и взрыва, физико-химические основы развития и тушения пожара, автоматические системы управления и связь, пожарная и промышленная автоматика и другие.

Учебное пособие состоит из восьми глав, в которых подробно и иллюстративно излагаются вопросы изучения основ технологии, процессов и аппаратов пожаровзрывоопасных производств; анализа пожарной опасности, а также вопросы, касающиеся оценки пожарной опасности и обеспечения пожарной безопасности технологических процессов и производственных объектов. Иллюстративный материал выполнен авторами с целью выделения главного и основного материала для систематизации знаний.

Также пособие содержит упрощенную интерпретацию определений, сформулированную авторами, которая позволит студентам усвоить суть и назначение терминов.

Рекомендуется использование пособия при подготовке к проведению занятий, курсового и дипломного проектирования, а также для подготовки к экзамену.

# 1. Теоретические основы пожаровзрывобезопасности технологий производств

## 1.1. Введение в курс «Пожарная безопасность технологических процессов»

Возникновение аварийных ситуаций на производстве приводит к тяжелым последствиям не только в рамках конкретного объекта, но и для населенных пунктов, расположенных в непосредственной близости к нему. В связи с этим существует необходимость непрерывного контроля и надзора за выполнением требований нормативных документов, которые обеспечивают состояние безопасности производств. При этом контроль и надзор должны осуществляться как на стадии проектирования объекта строительства, так и в ходе его эксплуатации. Это обусловлено непрерывным совершенствованием технологий производств, которое заключается в появлении новых более технологичных видов оборудования, во внедрении новых веществ и материалов, обладающих повышенной эффективностью, увеличением объемов и мощностей производств.

Для определения степени взрывопожарной опасности производств существует унифицированная методика, которая предполагает оценку возможности образования горючей среды как при нормальном режиме работы оборудования, так и при его повреждении; выявление возможности появления источника зажигания и воздействия на горючую среду; определение возможности распространения пожара и пути распространения; выявление условий затрудняющих мероприятия, направленные на эвакуацию людей и тушение пожара (рис. 1.1)



Рис. 1.1. Схема проведения анализа пожарной опасности

В результате анализа пожарной опасности производственного объекта формируются рекомендации по внедрению противопожарных мероприятий в соответствии с действующим законодательством Российской Федерации [1].

## 1.2. Цели и задачи курса

Основной целью изучения дисциплины «Пожарная безопасность технологических процессов» является изучение основных видов опасностей технологических процессов и мероприятий, направленных на обеспечение пожарной безопасности технологических процессов.

В соответствии с целью сформулированы следующие задачи:

**изучить:**

- основные причины возникновения аварий на производстве;
- основные мероприятия, направленные на исключение образования горючей среды внутри и за пределами аппаратов;
- основные мероприятия, направленные на исключение возможности появления источника зажигания;

**научиться:**

- определять категорию помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности;
- определять расчетным путем стехиометрический коэффициент, концентрационные пределы распространения пламени, избыточное давление взрыва.

## 1.3. Основные понятия и определения

Основные понятия и определения, используемые в настоящем пособии приведены в табл. 1.1 в алфавитном порядке.

Таблица 1.1

Основные понятия и определения

<b>Термин</b>	<b>Определение</b>
Авария	Разрушение сооружений и технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, неконтролируемый взрыв и выброс опасных веществ
Анализ опасности	Выявление нежелательных событий, влекущих за собой реализацию опасности, анализ механизма возникновения таких событий и масштаба их величины, способных оказать поражающее действие

Термин	Определение
Безопасность	Состояние защищенности прав граждан, природных объектов, окружающей среды и материальных ценностей от последствий несчастных случаев, аварий и катастроф на промышленных объектах
Взрыв	Быстрое химическое превращение среды, сопровождающееся выделением энергии и образованием сжатых газов
Взрывоопасная смесь	Смесь воздуха или окислителя с горючими газами, парами легковоспламеняющихся жидкостей, горючими пылями или волокнами, которая при определенной концентрации и возникновении источника инициирования взрыва способна взорваться
Взрывопожароопасность объекта защиты	Состояние, защищаемого объекта, которое характеризуется возможностью реализации взрывопожароопасного сценария или пожароопасного сценария развития аварии, сопровождающейся последующим взрывом
Взрыв паровоздушного облака	Сгорание стехиометрической концентрации (или близкой к ней) горючего вещества в смеси с окислителем в открытом пространстве, которое сопровождается высвобождением избыточного давления
Время срабатывания	Временной интервал с момента, когда горючий материал может поступать из трубы (перфорация, разрыв, изменение номинального давления и т. п.), до полного момента прекращения поступления газа или жидкости в помещение или на территорию открытой установки
Горючая среда	Смесь горючего с окислителем, которая может воспламениться от источника зажигания и поддерживать самостоятельное горение после его удаления
Интенсивность работы технологического оборудования	Отношение значения производительности технологического оборудования к количественной характеристике оборудования (площадь поверхности теплообмена, объем перерабатываемых веществ и т. д.)
Источник зажигания	Средство, инициирующее горение и обладающее энергией достаточной мощности для воспламенения
Крупная авария	Авария, в результате которой погибли не менее десяти человек



Термин	Определение
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 струи пара, газа или жидкости
Максимальная проектная авария	Проектная авария с наиболее тяжелыми последствиями.
Мощность производства	Максимально возможная производительность при оптимальных условиях течения технологического процесса
Объект защиты	Имущество, в любом его проявлении, к которому установлены требования нормативными документами, регламентирующими порядок обеспечения пожарной безопасности и защиты людей при пожаре
Огнестойкость технологического оборудования	Способность конструкции технологического оборудования в течение определенного промежутка времени сохранять свои функциональные свойства в условиях воздействия на него стандартного очага пожара
Окислитель	Вещество (материал), обладающее способностью вступать в экзотермические реакции с горючими веществами, окисляя их и увеличивая интенсивность протекания реакции горения
Пожар	Неконтролируемое горение, возникающее в результате экзотермической реакции горючего и окислителя, которое причиняет вред жизни и здоровью людей, материальный ущерб, интересам общества и государства
Пожарная безопасность объекта защиты	Состояние, при котором обеспечивается возможность предотвращения реализации взрывопожароопасных и пожароопасных сценариев развития пожара, а также поражения людей и имущества в результате воздействия опасных факторов взрыва или пожара
Пожарная опасность веществ и материалов	Возможность реализации пожароопасной ситуации с участием веществ (материалов), которые обладают пожароопасными свойствами и способны вступать в экзотермические реакции

Термин	Определение
Пожаровзрывоопасность веществ и материалов	Возможность реализации взрывопожароопасной ситуации с участием веществ (материалов), которые обладают пожароопасными свойствами и способны образовывать взрывопожароопасные смеси
Полное разрушение технического оборудования	Нарушение целостности конструкции оборудования, в результате чего происходит выброс всего содержимого в производственные помещения или на территорию открытой установки
Проектная авария	Авария с заданным уровнем безопасности гарантируется системой безопасности, предусмотренной в проекте промышленного предприятия.
Производительность технологического оборудования (цеха)	Отношение количества преобразованного сырья к единице времени протекания технологического процесса
Производственные объекты	Здания, наружные установки, сооружения и комплексы, которые предназначены для осуществления производства промышленных изделий и сельского хозяйства, включая объекты, предназначенные для хранения, транспортировки и инженерного обеспечения
Процесс производства	Комплекс всех действий и операций, которые осуществляются в технологическом процессе, который обеспечивает преобразование сырья в конечный продукт
Система предотвращения пожара	Организация комплексного применения на объекте защиты мероприятий и технических средств для исключения возможности реализации взрывопожароопасной ситуации
Система противопожарной защиты	Организация комплексного применения мероприятий и технических средств, ограничивающих распространение пожара и обеспечивающих защиту людей и имущества от поражения опасными факторами, а также снижающих негативные последствия реализации взрывопожароопасной ситуации
Сырье	Вещества и материалы природного происхождения, используемые для получения конечного продукта производства
Технологическая среда	Вещества и материалы, обращающиеся в технологическом процессе производства продукции

Термин	Определение
Технологический процесс	Действия, осуществляющие изменение свойств или состояния сырья с целью получения конечного или промежуточного продукта
Технологический регламент	Документ, установленной формы в соответствии с действующим законодательством и утвержденный в установленном порядке, который регламентирует строгую последовательность операций технологического процесса, условия, параметры его ведения и основные физико-химические свойства обрабатываемых веществ и материалов
Технология	Наука о способах и процессах получения продукта производства из сырья

### Контрольные вопросы

1. Цель изучения дисциплины «Пожарная безопасность технологических процессов».
2. Что относится к горючей среде?
3. Какие аварии рассматриваются для обеспечения пожарной безопасности технологических процессов?
4. Дать определение - огнестойкость технологического оборудования.
5. Какие объекты относятся к производственным?
6. Что содержит технологический регламент?
7. Что такое взрывоопасная смесь?
8. Какую информацию содержит технологический регламент?
9. Что происходит в результате полного разрушения технологического оборудования?
10. Что относится к источнику зажигания?

### 2. Классификация технологий производств и применяемых аппаратов

В зависимости от мощности производства предприятия могут представлять собой отдельно стоящие производственные здания или комплексы, состоящие из зданий, сооружений, наружных установок, которые включают в себя инженерные сети и оборудование, технологические трубопроводы, транспортные коммуникации и т. д. В зданиях, сооружениях и наружных установках осуществляется размещение технологического оборудования и аппаратов.

При осуществлении технологического процесса происходит преобразование сырья в конечный продукт. Сырье – это одна из основных составляющих

технологического процесса [2]. В зависимости от используемого сырья определяются:

- технология производства конечного продукта;
- технологическое оборудование, его мощность, конфигурация и т. д.;
- качество конечного продукта;
- экономическая эффективность производства;
- взрывопожароопасность и пожароопасность объекта в целом.

Классификация применяемого сырья в производстве представлена на рис. 2.1.

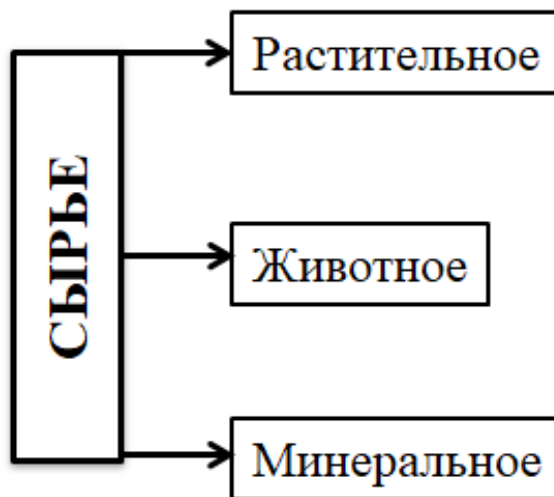


Рис. 2.1. Схема: классификация сырья по происхождению

Также в качестве сырья может использоваться продукция других производств, а именно:

- полуфабрикаты;
- побочные продукты производства;
- отходы производства.

Технологические процессы производства в свою очередь классифицируются по способу организации (рис. 2.2).

Непрерывные процессы обладают рядом преимуществ по сравнению с периодическими и, кроме этого, обладают меньшей взрывопожароопасностью. Это обусловлено сокращением количества пусков и остановок оборудования, в процессе которых значительно возрастает вероятность реализации взрывопожароопасной и пожароопасной ситуации. Преимущества непрерывных процессов заключаются:

- в возможности применения автоматических систем регулирования и блокировки;
- в автоматизации и механизации технологического процесса;
- в снижении количества пусков и остановок оборудования;
- в снижении количества опасных веществ в результате малых геометрических размеров;

- в отсутствии необходимости разгерметизации оборудования в процессе загрузки и опорожнения его содержимого;
- в повышении качества продукции;
- в снижении количества обслуживающего персонала.



Рис. 2.2. Схема классификации технологических процессов по способу организации

По физико-химической сущности все технологические процессы классифицируются в соответствии с рис. 2.3.

Механические технологические процессы характеризуются законами механики твердых тел. При измельчении твердых веществ и материалов возможность реализации пожароопасной ситуации характеризуется группой горючести применяемых веществ, их дисперсностью и интенсивностью пыления.

При измельчении твердых веществ и материалов могут возникнуть следующие источники зажигания:

- искра, возникающая в результате попадания в объем аппарата постороннего предмета;
- высоконагретые части аппарата;
- статическое электричество, возникающее в результате трения вещества или материала о стенки аппарата.

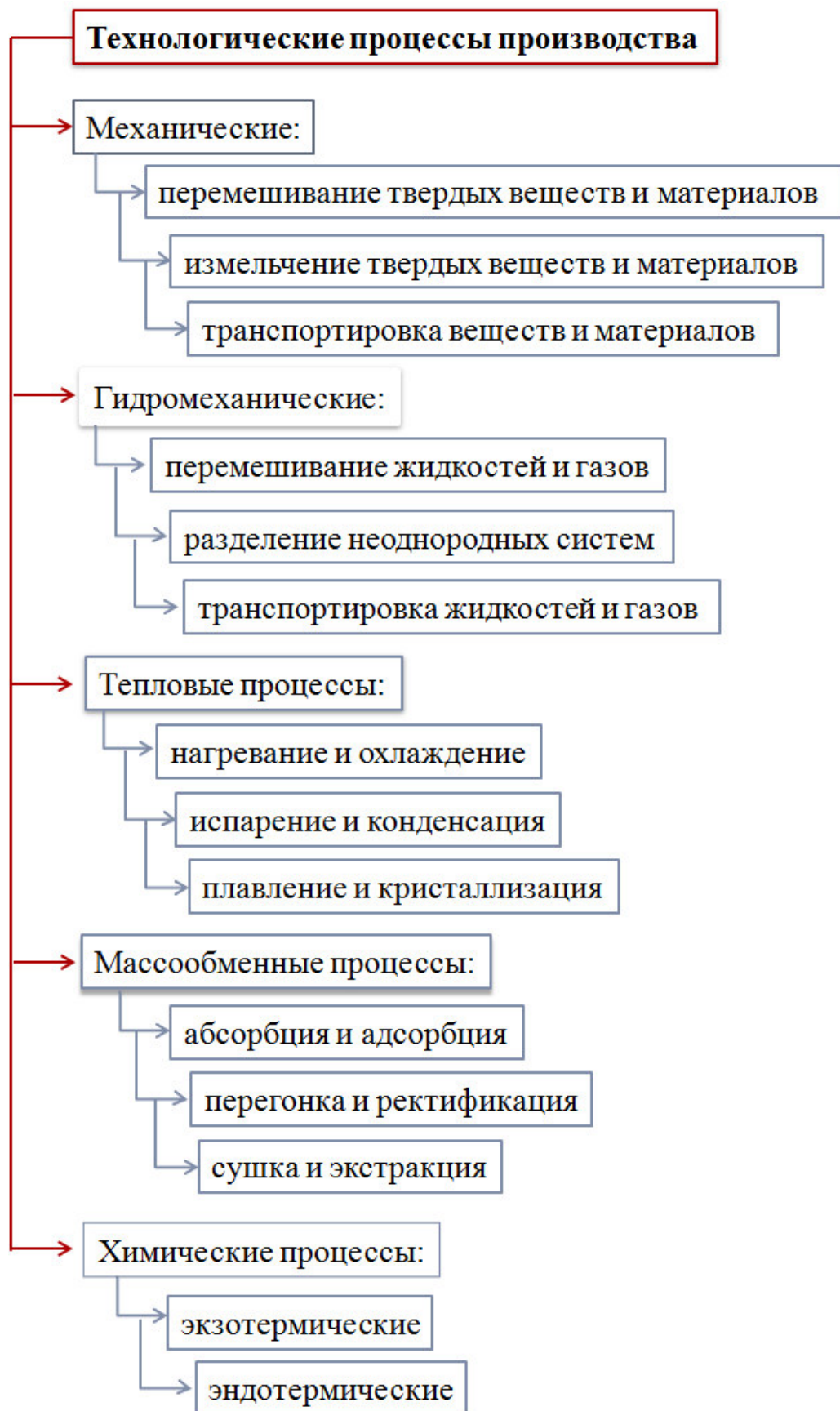


Рис. 2.3. Схема классификации технологических процессов в соответствии с физико-химической сущностью

Измельчение осуществляется следующими способами:

- раскалыванием;
- раздавливанием;
- изломом;
- истиранием;
- ударом;
- сжатием.

Гидромеханические процессы описываются законами гидрогазодинамики. Гидромеханическое перемешивание жидкостей и газов осуществляется следующими способами:

- механическим перемешиванием с помощью мешалок;
- пневматическим перемешиванием сжатым воздухом, инертным газом или паром;
- циркуляционным перемешиванием посредством многократного перекачивания жидкости или газа через аппарат;
- поточным перемешиванием при использовании смесителей непосредственно в трубопроводе.

Виды неоднородных систем, которые подвергаются разделению в технологических процессах, представлены на рис. 2.4.

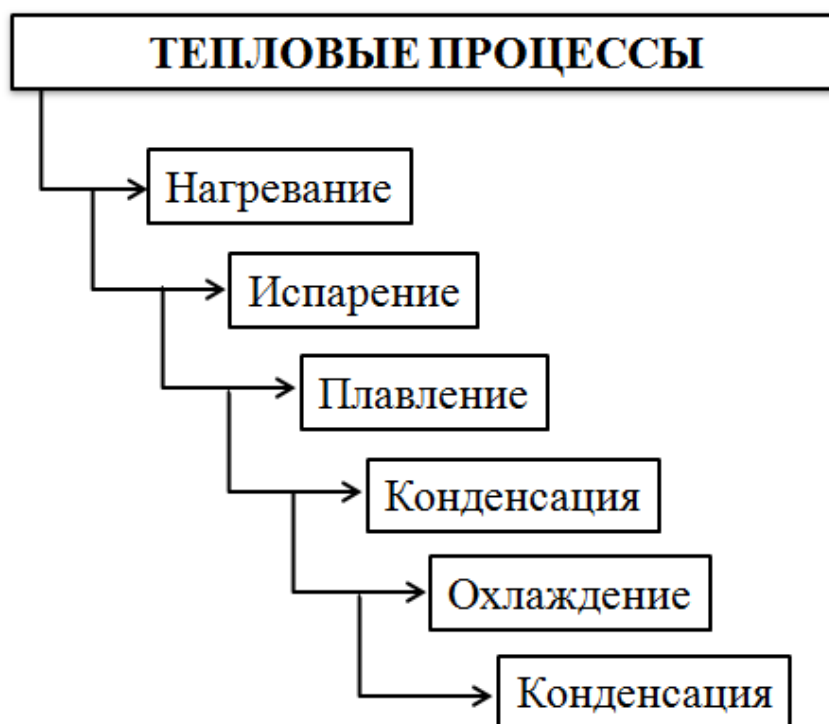


Рис. 2.4. Схема: виды неоднородных систем

Разделение неоднородных систем применяется во всех отраслях промышленности. Методы для разделения разнородных систем представлены на рис. 2.5.



Рис. 2.5. Методы разделения разнородных систем в соответствии с агрегатным состоянием веществ

Взрывопожароопасность гидромеханических процессов заключается в применении технологического оборудования, работа которого осуществляется под давлением, а также в ходе производства фильтрации, отстаивания и других гидромеханических процессов могут подвергаться вещества, обладающие взрывопожароопасными свойствами [3].

Транспортировка жидкостей и газов осуществляется различными видами насосов (рис. 2.6).

Процесс перемещения газов и жидкостей может привести к возникновению горения в случае зажигания горючей среды, образованной от перемещаемых горючих жидкостей и газов, от следующих возможных источников зажигания:

- теплового проявления механической энергии (трение);
- фрикционных искр;
- разрядов статического электричества;
- процессов самовозгорания веществ.



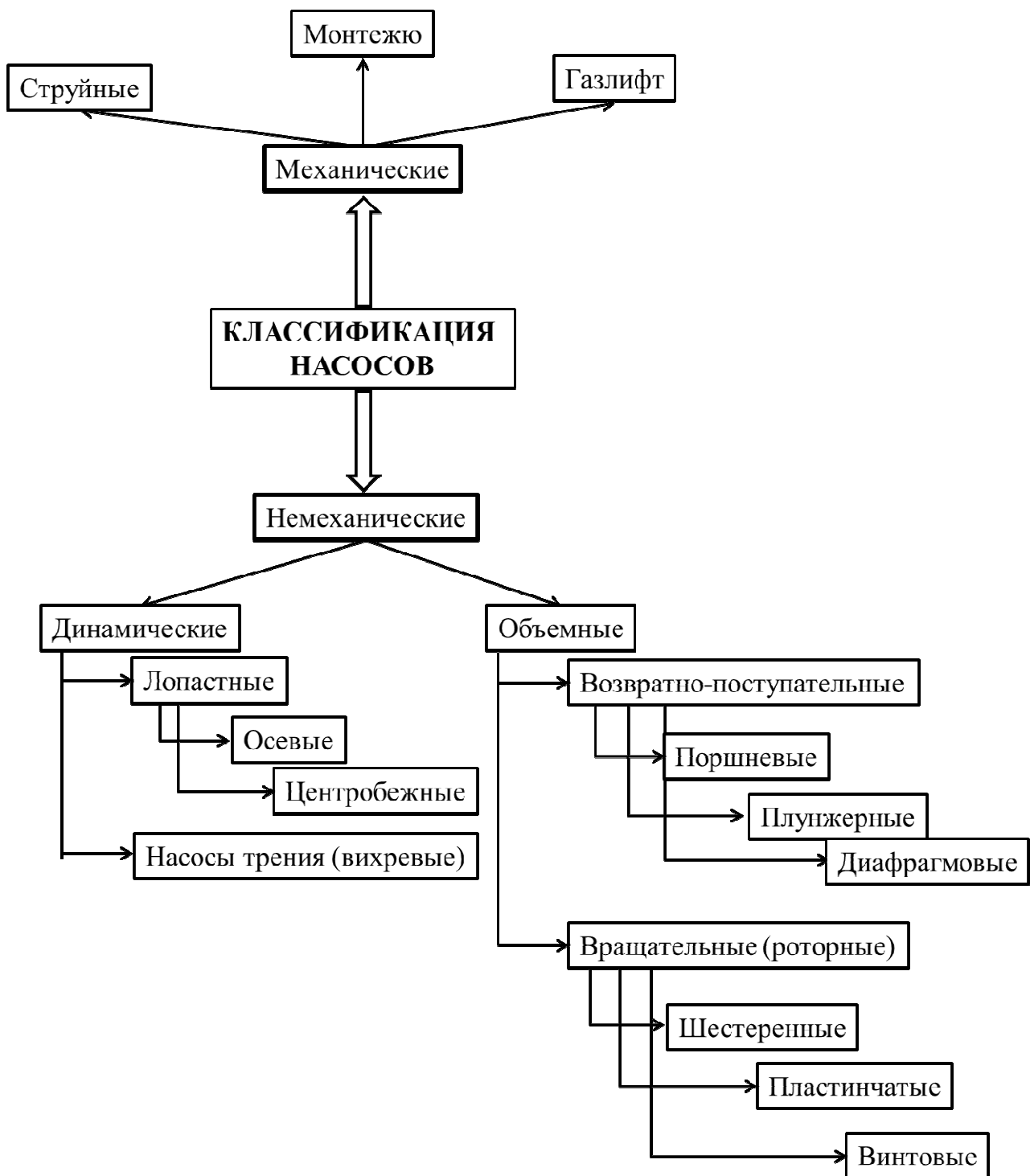


Рис. 2.6. Схема классификации устройств для перемещения газов и жидкостей

Тепловые процессы характеризуются законами теплопередачи, которые описывают способы распределения теплоты. Тепловые технологические процессы представлены на рис. 2.7.

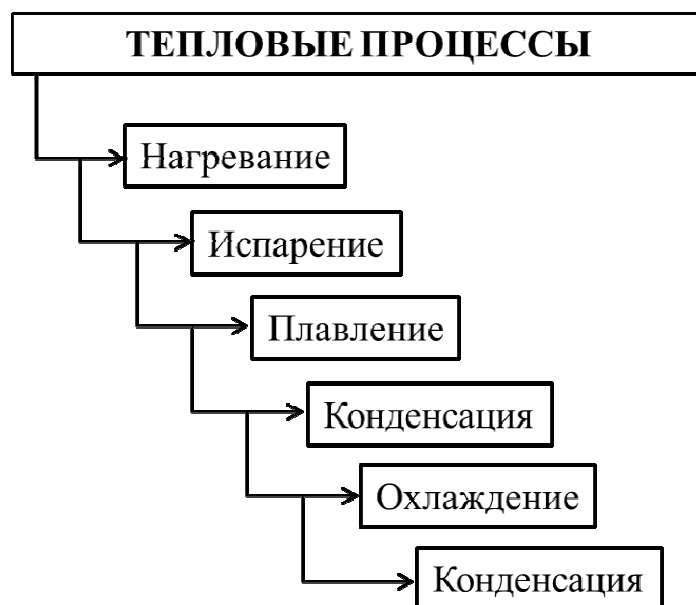


Рис. 2.7. Схема классификации тепловых процессов

Для осуществления тепловых процессов применяются теплоносители и хладагенты. В качестве теплоносителей, которые обеспечивают нагрев, применяются:

- горячая вода;
- водяной пар;
- нагретые продукты производства;
- топочные газы;
- горячий воздух;
- расплавленный металл;
- расплавы солей;
- органические продукты.

В качестве хладагентов применяют:

- атмосферный воздух;
- воду;
- продукты производства (холодные);
- рассолы и антифризы.

Классификация теплообменных аппаратов представлена на рис. 2.8.

Пожарная опасность теплообменных процессов заключается в применении нагретых теплоносителей, которые являются достаточно мощными источниками зажигания. При этом реализация взрывопожароопасной ситуации может произойти в результате повышения давления в печах, нарушения целостности оборудования, взрыва в топочном пространстве печи, а также в результате самовозгорания отложений на теплообменной поверхности.

Массообменные технологические процессы описываются законами массопереноса и тепломассопереноса и заключаются в изменении свойств веществ

посредством их переноса из одной фазы в другую через поверхность их раздела. Классификация массообменных процессов представлена на рис. 2.9.

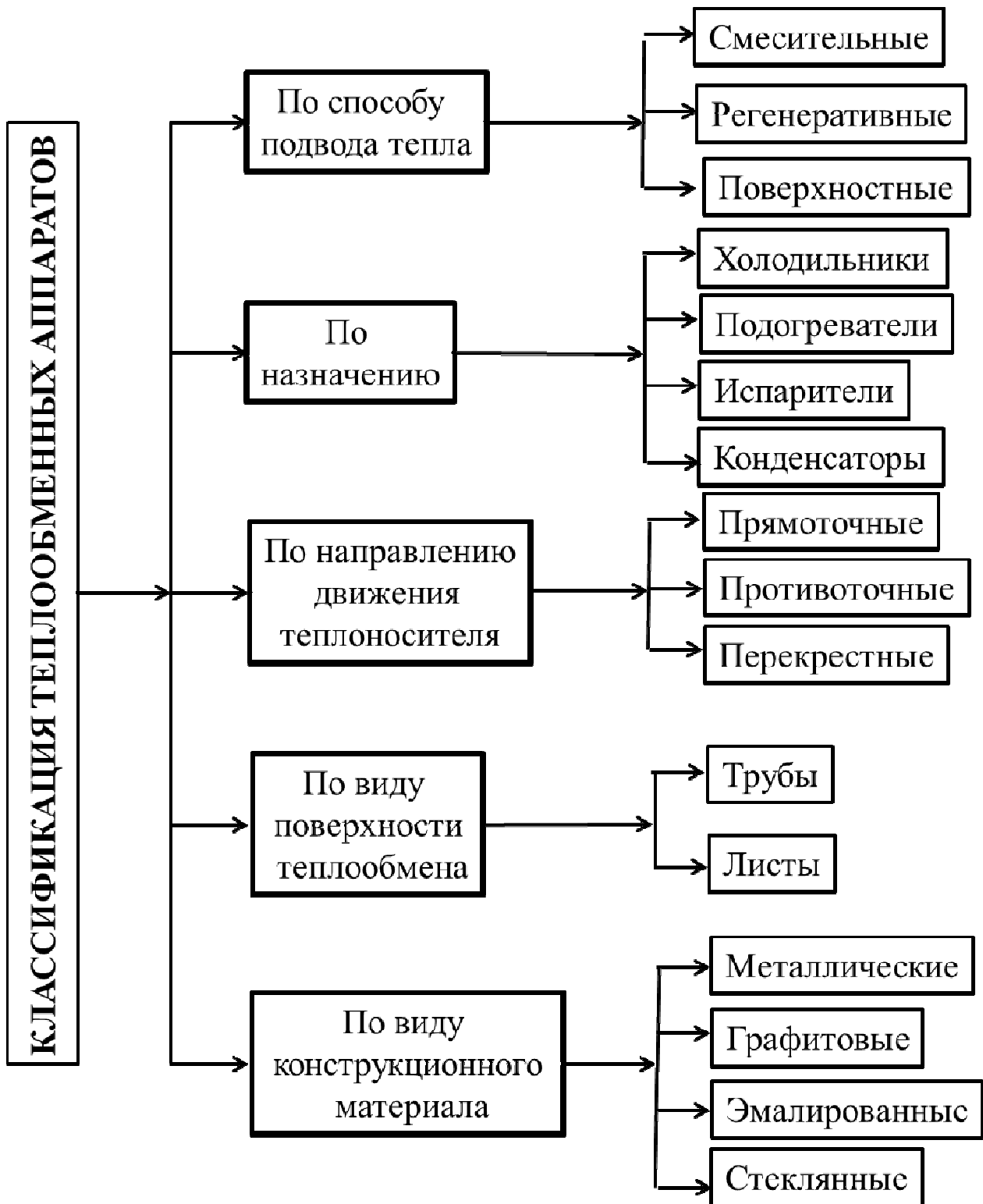


Рис. 2.8. Схема классификации теплообменных аппаратов

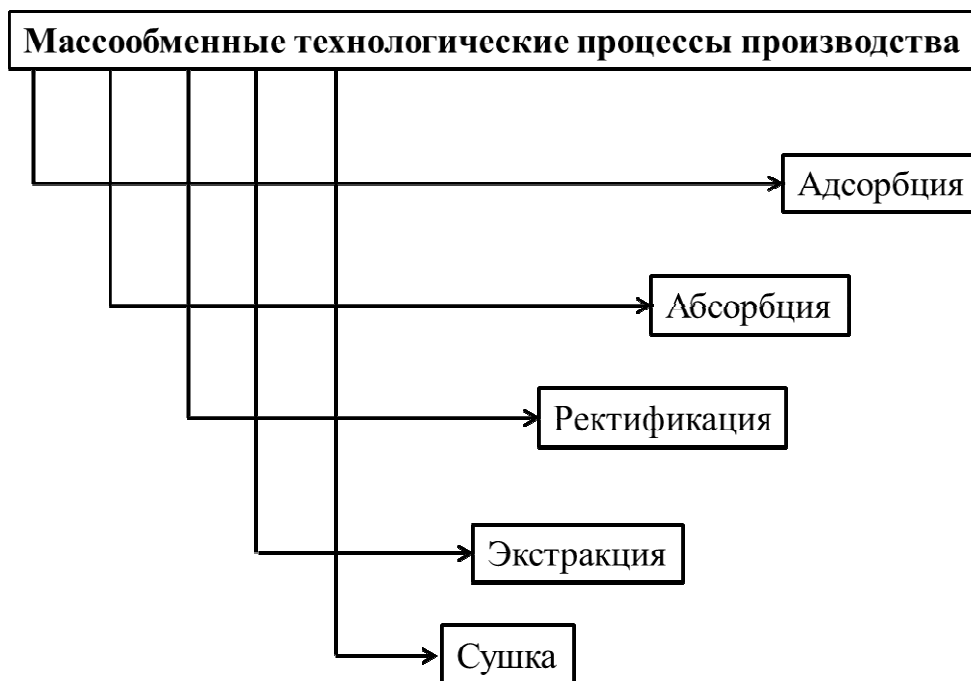


Рис. 2.9. Схема классификации массообменных процессов

Адсорбция и абсорбция – это процессы поглощения одним веществом другого. Таким образом, адсорбция заключается в поглощении твердым веществом газа или пара, а абсорбция – в поглощении жидкостью газов. При этом может происходить выделение тепла. Пожарная опасность процессов заключается в том, что большинство твердых пористых веществ обладает способностью к самовозгоранию. Аппараты, предназначенные для абсорбции, называются скрубберами. Они классифицируются по принципу взаимодействия разных фаз (рис. 2.10).

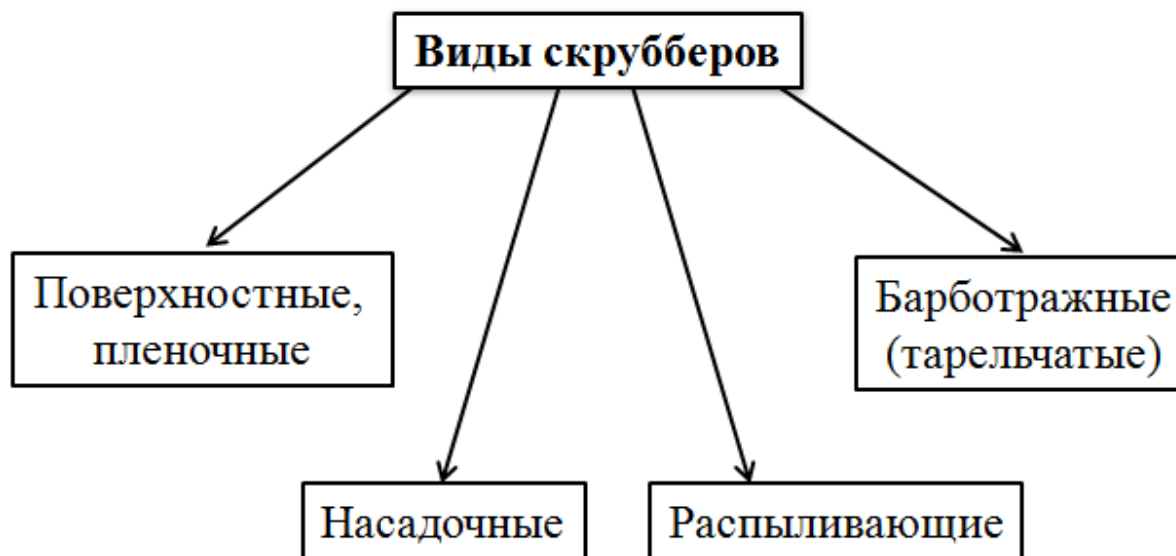


Рис. 2.10. Схема классификации скрубберов

Сущность перегонки и ректификации заключается в нагревании веществ с целью получения пара, который впоследствии конденсируется. Различие между перегонкой и ректификацией состоит в том, что при перегонке нагревание осуществляется однократно, а при ректификации - многократно.

Целью процессов перегонки и ректификации является разделение смеси на вещества, которые обладают различной температурой испарения и кипения. Эти технологические процессы получили широкое применение в нефтехимической промышленности.

Исходя из этого пожарная опасность процессов характеризуется:

- возможностью образования паровоздушной горючей смеси внутри аппарата в режимах пуска и остановки;
- использованием высоконагретых горючих веществ;
- возможностью нарушения материального и теплового баланса процесса, в результате которого может произойти нарушение целостности аппарата и выход горючих веществ.

Экстракция заключается в извлечении вещества из раствора или пористого твердого материала за счет избирательной растворимости в экстрагенте (растворителе).

Процесс сушки осуществляется путем нагревания вещества с целью испарения из него излишней влаги. Данный процесс обладает пожарной опасностью в результате нагрева веществ. Процесс сушки классифицируется в зависимости:

- от способа отвода тепла;
- от организации процесса;
- от величины давления;
- от вида материала;
- от конструктивных особенностей аппарата.

Классификация аппаратов, предназначенных для сушки, показана на рис. 2.11.

Химические технологические процессы классифицируются по тепловым характеристикам на экзотермические и эндотермические.

Экзотермические химические процессы характеризуются выделением тепла в результате химических превращений веществ, а эндотермические – поглощением тепла, необходимого для протекания химических реакций. При этом используются технологические аппараты, называемые реакторами. Классификация реакторов представлена на рис. 2.13.

Экзотермические технологические процессы включают в себя следующие основные виды:

- гидрирование;
- хлорирование;
- гидрохлорирование;
- полимеризация;
- поликонденсация;

- получение полиэтилена.

Эндотермические технологические процессы разделяются на следующие основные виды:

- крекинг;
- риформинг;
- гидроочистка.

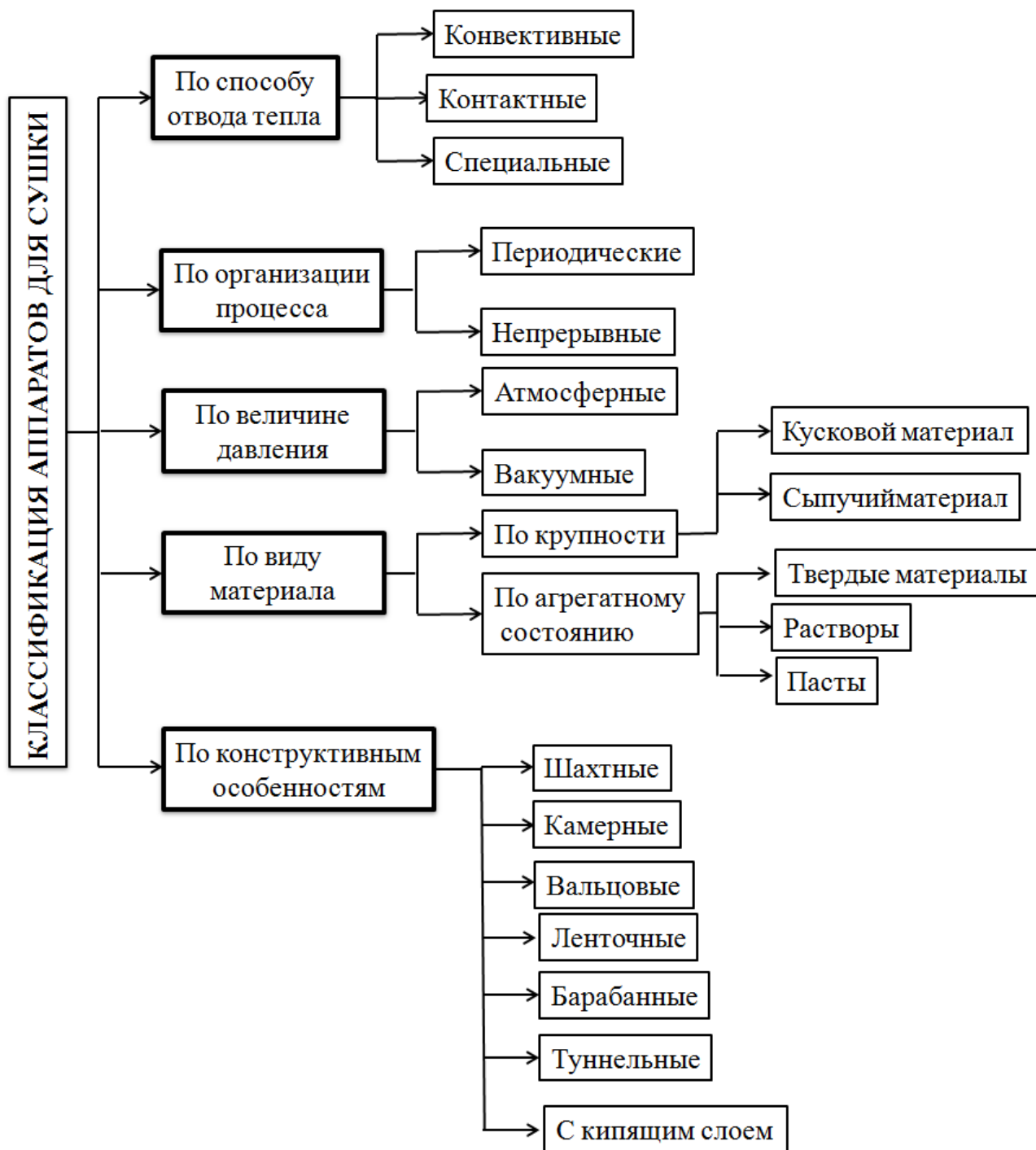


Рис. 2.11. Схема классификации сушильных аппаратов

Фазовые характеристики процессов массообмена представлены на рис. 2.12.

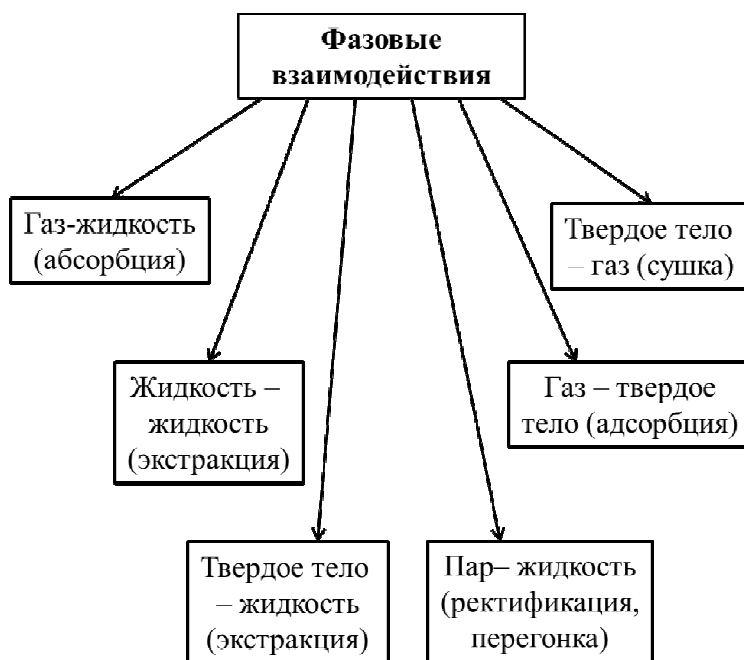


Рис. 2.12. Фазовые взаимодействия массообменных процессов

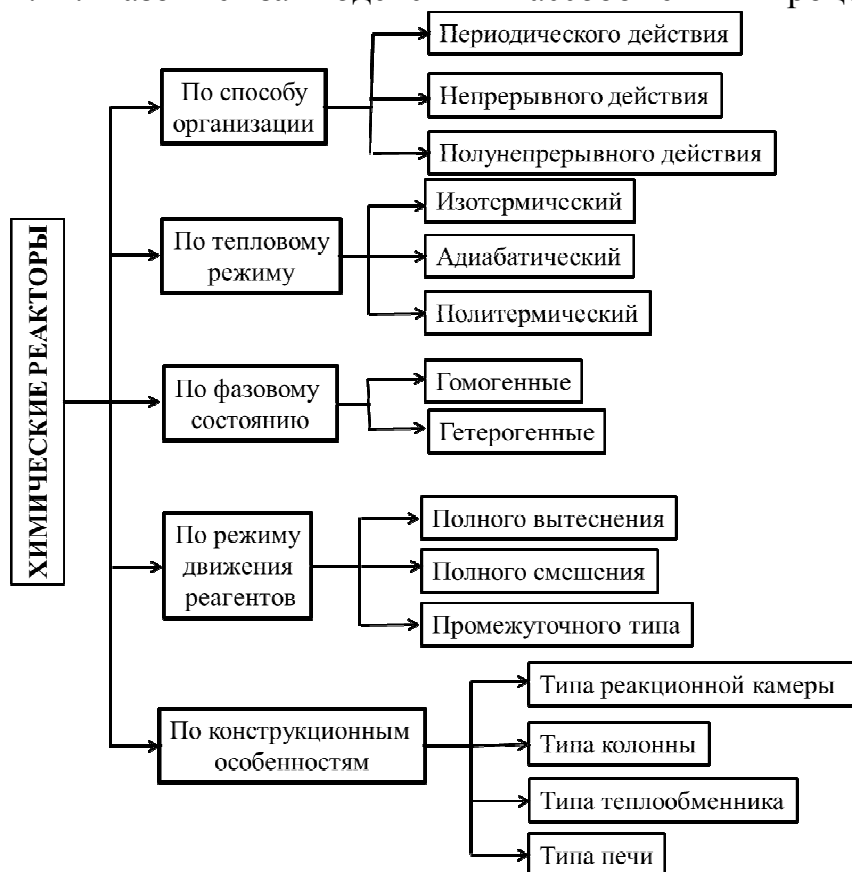


Рис. 2.13. Схема классификации химических реакторов

Перечень условий, характеризующих пожарную опасность экзотермических и эндотермических реакций в технологических процессах, представлен в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Перечень условий, характеризующих пожарную опасность экзотермических и эндотермических реакций в технологических процессах

	Наименование процесса	Наличие горючих веществ	Образование паровоздушной (газовоздушной) горючей смеси в реакторе	Повреждение аппарата в результате повышения давления	Повреждение аппарата в результате температурных напряжений
Экзотермические процессы	гидрирование	+	+	+	+
	хлорирование	+	+	+	+
	гидрохлорирование	+	+	+	+
	полимеризация	+	+	+	-
	поликонденсация	+	+	+	-
	получение полиэтилена	+	+	+	+
Эндотермические процессы	крекинг	+	+	+	+
	риформинг	+	+	-	-
	гидроочистка	+	+	-	-

В целом на пожарную опасность технологического процесса влияют характеристики, представленные на рис. 2.14.

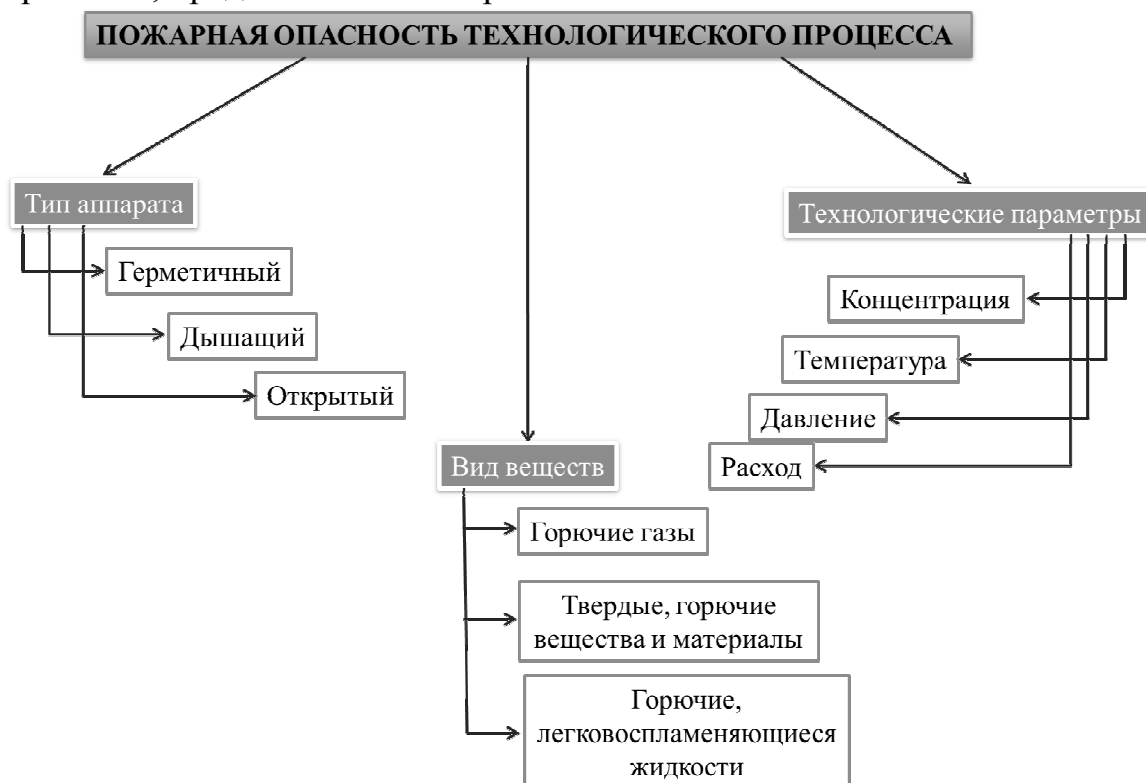


Рис. 2.14. Характеристика пожарной опасности технологических процессов



### Контрольные вопросы

1. Как классифицируются технологические процессы по способу организации?
2. Чем характеризуется пожарная опасность технологических процессов?
3. Как классифицируются технологические процессы в соответствии с физико-химической сущностью?
4. Перечислите массообменные процессы, в чем заключается их пожарная опасность?
5. Какие химические реакторы вы знаете, в чем заключается их пожарная опасность?
6. В чем заключается сущность процесса ректификации?
7. Какие сорбционные процессы вы знаете?

### 3. Методы анализа пожарной опасности производственного объекта

По уровню пожароопасности технологий производств, производственные объекты, условно можно разделить на опасные (I-IV класс) и не относящиеся к ним. При этом самыми опасными являются объекты первого класса, характеризуются большим количеством взрывопожароопасных веществ и материалов. Примеры некоторых веществ и материалов, а также критические значения позволяющие отнести производственные объекты к опасным, приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Критические значения количества веществ в технологическом процессе [4]

Группа	Наименование	Критическое значение, т
Газы горючие сжатые, сжиженные и растворенные под давлением	Ацетилен $C_2H_2$	1
	Водород $H_2$	1
	Сернистый водород $H_2S$	1
	Оксид этилена $(CH_2)_2O$	1
	Аммиак $NH_3$	10
Горючие жидкости, находящиеся на товарно-сырьевых складах и базах	Нефтепродукты: бензины, масла, дизтопливо	1000
	Растительные масла	1000
Горючие жидкости, используемые в технологическом процессе или транспортируемые по магистральному трубопроводу	Нефтепродукты и другие горючие жидкости	1
Окисляющие вещества	Кислород $O_2$	1

Анализ пожарной опасности технологических процессов представляет собой комплексную оценку технологии производства и выполняется в двух направлениях: количественная оценка и качественная оценка.

В рамках количественного анализа пожарной опасности технологических процессов выполняются стадии, перечисленные на рис 3.1.

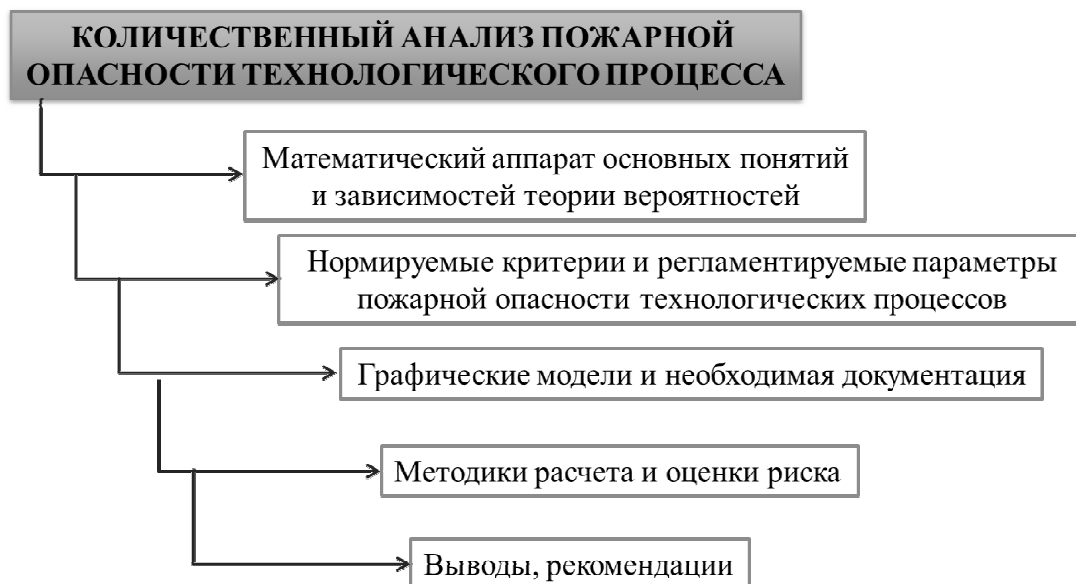


Рис. 3.1. Стадии количественного анализа пожарной опасности

Качественная оценка пожарной опасности выполняется в несколько стадий, которые показаны на рис. 3.2.



Рис. 3.2. Стадии качественного анализа пожарной опасности

## Контрольные вопросы

1. Что включает в себя качественный анализа пожарной опасности технологического процесса?
2. Что включает в себя количественный анализа пожарной опасности технологического процесса?
3. Назовите критические значения количества веществ в технологическом процессе?
4. На какие группы делятся горючие вещества?

### 4. Причины образования горючей среды за пределами технологических аппаратов при нормальном режиме работы

При качественной оценке пожарной опасности производственного объекта предварительно оценивается возможность и уровень опасности образования горючей среды в помещениях или в окружающем наружную установку пространстве. Данная оценка предполагает определение типа аппарата, количества веществ внутри аппарата, а также причины выхода горючих веществ наружу. Существуют следующие типы аппаратов:

- герметичные;
- сообщающиеся с атмосферой (открытые и дышащие).

При эксплуатации открытых и дышащих аппаратов образование горючей среды за пределами оборудования обусловлено нормальным течением технологического процесса. Аппараты, которые эксплуатируются с открытым зеркалом жидкости, предусматривают испарение горючих паров с поверхности фазового раздела. При этом необходимо учитывать наличие и производительность систем вентиляции, а также скорость воздушных потоков.

Достаточно распространенным примером таких аппаратов являются емкости для покраски изделий методом окунания. При этом в газоздушный объем помещения поступает растворитель, который испаряется со свежескрашенной поверхности.

Второй тип аппаратов, сообщающихся с атмосферой, представляет собой аппараты с дыхательными устройствами, которые включают арматуру, обеспечивающую стравливание паров или подсос воздуха внутрь аппарата с целью регулирования внутреннего давления. При этом существуют аппараты, которые работают в условиях больших или малых дыханий.

Большие дыхания возникают в результате изменения давления внутреннего объема аппарата при его опорожнении и наполнении.

Малые дыхания обусловлены динамикой значения температуры в помещении.

Выход горючих веществ наружу из герметичного аппарата может произойти только в результате нарушения его целостности.

Условия образования взрывопожароопасных концентраций снаружи аппарата представлены на рис. 4.1.



Рис. 4.1. Условие образования взрывопожароопасных концентраций:  
 $m_{\text{пар}}$  – масса пара, который испарится с поверхности жидкости в условиях работы системы вентиляции, кг;  $\eta$  – коэффициент, который зависит от скорости воздушного потока и рабочей температуры;  $M$  – молярная масса жидкости, кг/кмоль;  $P_s$  – давление насыщенных паров жидкости при рабочей температуре, Па;  $F_u$  – площадь поверхности испарения,  $\text{м}^2$ ;  $\tau$  – продолжительность испарения;  $\phi_s$  – концентрация, %;  $\rho_l$  – плотность при рабочей температуре,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $D_l$  – коэффициент молекулярной диффузии;  $V_{\text{ж}}$  – объем жидкости, находящейся в аппарате,  $\text{м}^3$ ;  $P_p$  – рабочее давление, Па;  $T_p$  – рабочая температура, К;  $V_{\text{св}}$  – свободный объем аппарата,  $\text{м}^3$ ;  $K_b$  – коэффициент безопасности, допускается принимать равным 2;  $t_p$  – рабочая температура аппарата,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\text{ВСП(о.м.)}}$  – температура вспышки открытого тигля,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\text{ВСП(з.м.)}}$  – температура вспышки закрытого тигля,  $^{\circ}\text{C}$  [3]

Взрывоопасная концентрация горючих веществ в смеси с воздухом лежит между верхним концентрационным пределом распространения пламени и нижним,

$$\phi_H \leq \phi \leq \phi_B,$$

где  $\phi_H, \phi, \phi_B$  – нижний концентрационный предел распространения пламени, концентрация горючего в смеси с воздухом, верхний концентрационный предел распространения пламени, соответственно, %.

## Контрольные вопросы

1. Какие типы аппаратов относительно сообщения с окружающей средой вы знаете?
2. Какие аппараты относятся к дышащим?
3. Какие аппараты относятся к открытым?
4. Какие аппараты относятся к герметичным?
5. Понятие о малом дыхании и большом дыхании.
6. При каких условиях образуется горючая среда в негерметичных аппаратах?

## 5. Причины повреждения технологических аппаратов с горючими веществами и мероприятия, направленные на их исключение

Различные виды воздействий на стенки аппаратов и трубопроводов могут привести к возникновению локальных (точечных) повреждений или полного разрушения конструкции аппарата. При этом вещества и материалы, находящиеся или транспортирующиеся могут поступить в объем помещения и в смеси с воздухом создать горючую среду, способную при воздействии источника зажигания воспламениться и гореть [3].

Основные причины нарушения целостности технологических аппаратов, в которых хранятся или преобразуются горючие вещества и материалы можно условно разделить на три группы, которые в свою очередь подразделяются на виды по природе возникновения (рис. 5.1).

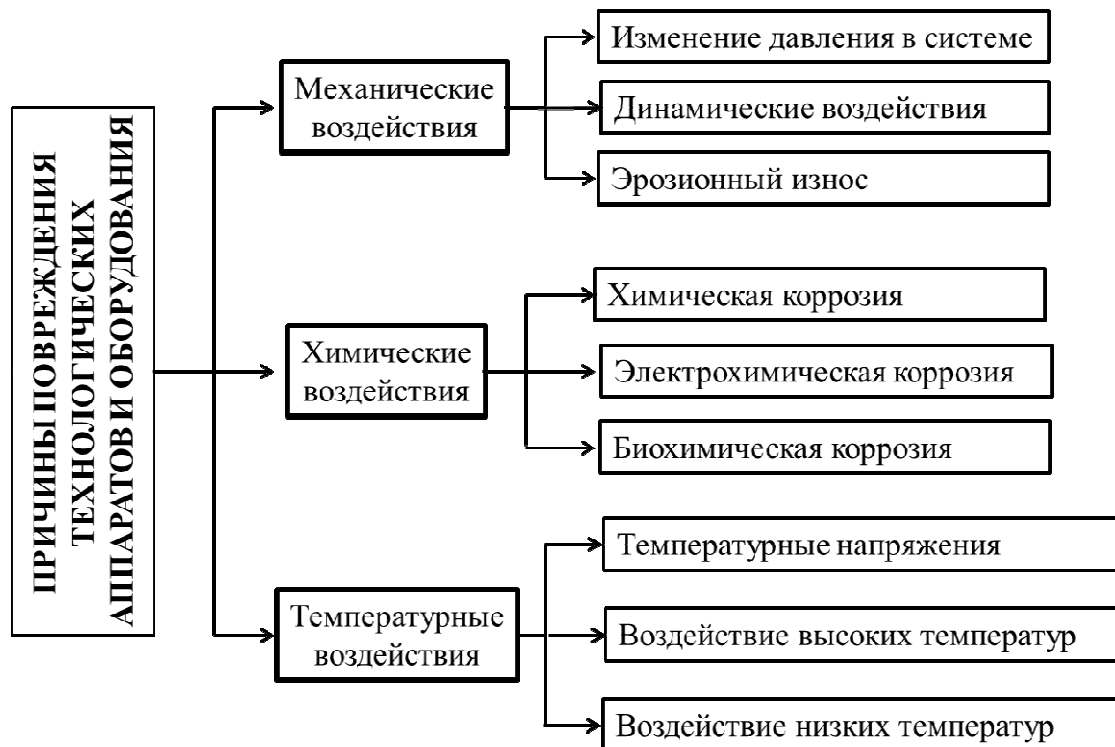


Рис. 5.1. Перечень причин повреждения технологических аппаратов и оборудования

Изменение давления в аппарате происходит вследствие нарушения нормального ведения технологического процесса, а также при пуске и остановке. Перечень причин и условий динамики значения давления в аппарате представлены на рис. 5.2.



Рис. 5.2. Перечень причин и условий динамики давления

Эрозионный износ представляет собой повреждение материала стенок аппаратов и трубопроводов механическими примесями, которые содержатся в жидкости или газе, в ходе их перемещения. Механические примеси, в виде мельчайших частичек, ударяются о стенки оборудования и разрушают поверхностный слой материала. При этом происходит истирание материала, возникают царапины, нарушается целостность и устойчивость конструкции аппарата.

Динамические воздействия могут возникать при нарушении технологического процесса, при пуске и остановке оборудования, а также в результате нарушений правил эксплуатации. Основные динамические воздействия на оборудование представлены на рис. 5.3.

Резкое изменение давления происходит при пуске и остановке оборудования в результате неустойчивости режима технологического процесса. Гидравлический удар – это также резкое повышение давления в системе, которое происходит в результате резкого изменения скорости поступления веществ. Возникает гидравлический удар при изменении направления движения потока

веществ, резком пуске или остановке подачи вещества и т. д. Вибрации возникают от различных источников при нормальной работе оборудования, а также при возникновении неисправностей. Основное оборудование, способное передавать вибрации:

- электрические двигатели;
- двигатели внутреннего сгорания;
- компрессоры;
- насосы;
- прессы;
- отбойные молотки и многое другое.

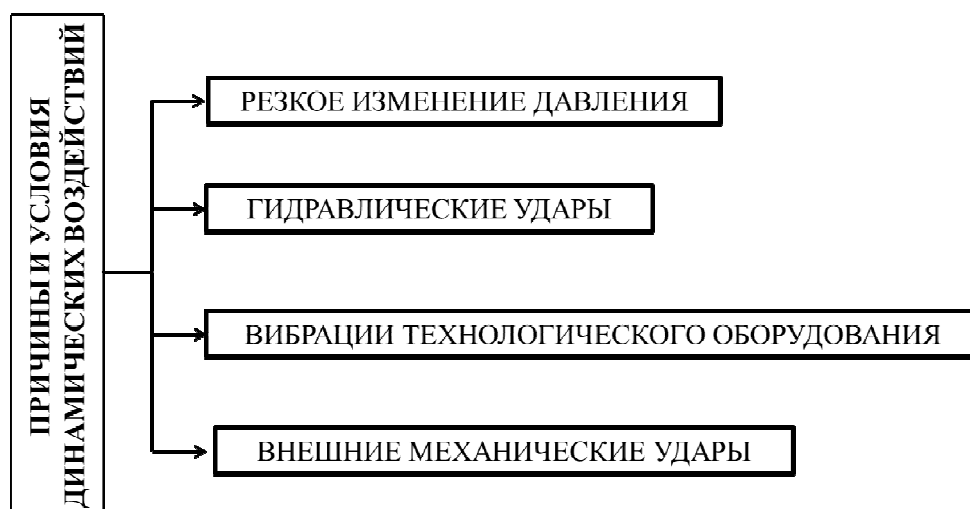


Рис. 5.3. Перечень причин и условий динамических воздействий

Внешние механические удары происходят в результате неисправностей подъемных и транспортировочных устройств, а также при проведении ремонтных работ несоответствующим инструментом ударного действия.

Химические воздействия нередко становятся причинами повреждения технологического оборудования. Существует 4 вида химической коррозии, которой могут подвергаться материалы, из которых изготовлено технологическое оборудование (рис. 5.4).

Наиболее часто встречающаяся коррозия – это кислородная. Она возникает под действием кислорода воздуха или кислорода, который присутствует в воде. При этом на поверхности металла возникает окалина, которая оказывает значительное влияние на функциональные свойства металла. Серная и сероводородная коррозия возникает на металлах, которые эксплуатируются в углекислотной среде. При водородной коррозии высвобождается водород, который проникает в кристаллическую решетку металла и образует внутри нее твердый раствор водорода в железе. В результате этого на поверхности металла образуются вздутия и трещины, а сам металл приобретает хрупкость.

Электрохимическая коррозия возникает в среде электролита. Разрушающее действие сопровождается возникновением электрического тока внутри

рассматриваемой системы. Данный вид коррозии приводит к удалению атома металла из кристаллической решетки в результате перехода ионов металла в раствор электролита и связывания электронов окислителями. Электрохимическая коррозия подразделяется на 4 группы в соответствии со средой, в которой она происходит (рис. 5.5).

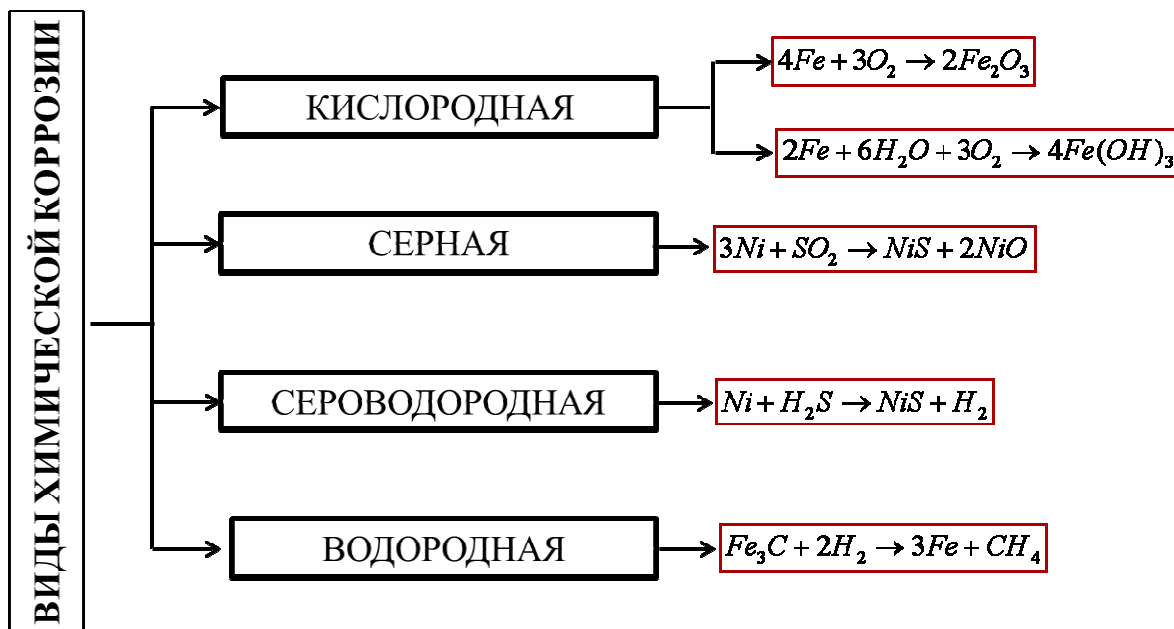


Рис. 5.4. Виды химической коррозии



Рис. 5.5. Виды электрохимической коррозии

Температурные напряжения возникают в материале стенок аппарата под действием внутреннего или внешнего тепла. Повышенные температуры могут воздействовать на аппараты и оборудование при нормальном режиме работы оборудования или в ходе пожара. Воздействие низких температур обусловлено температурными режимами северных климатических зон или применением хладагентов в технологии производства.



Мероприятия, направленные на исключение возможности механических воздействий и снижение их последствий, представлены на рис. 5.6.

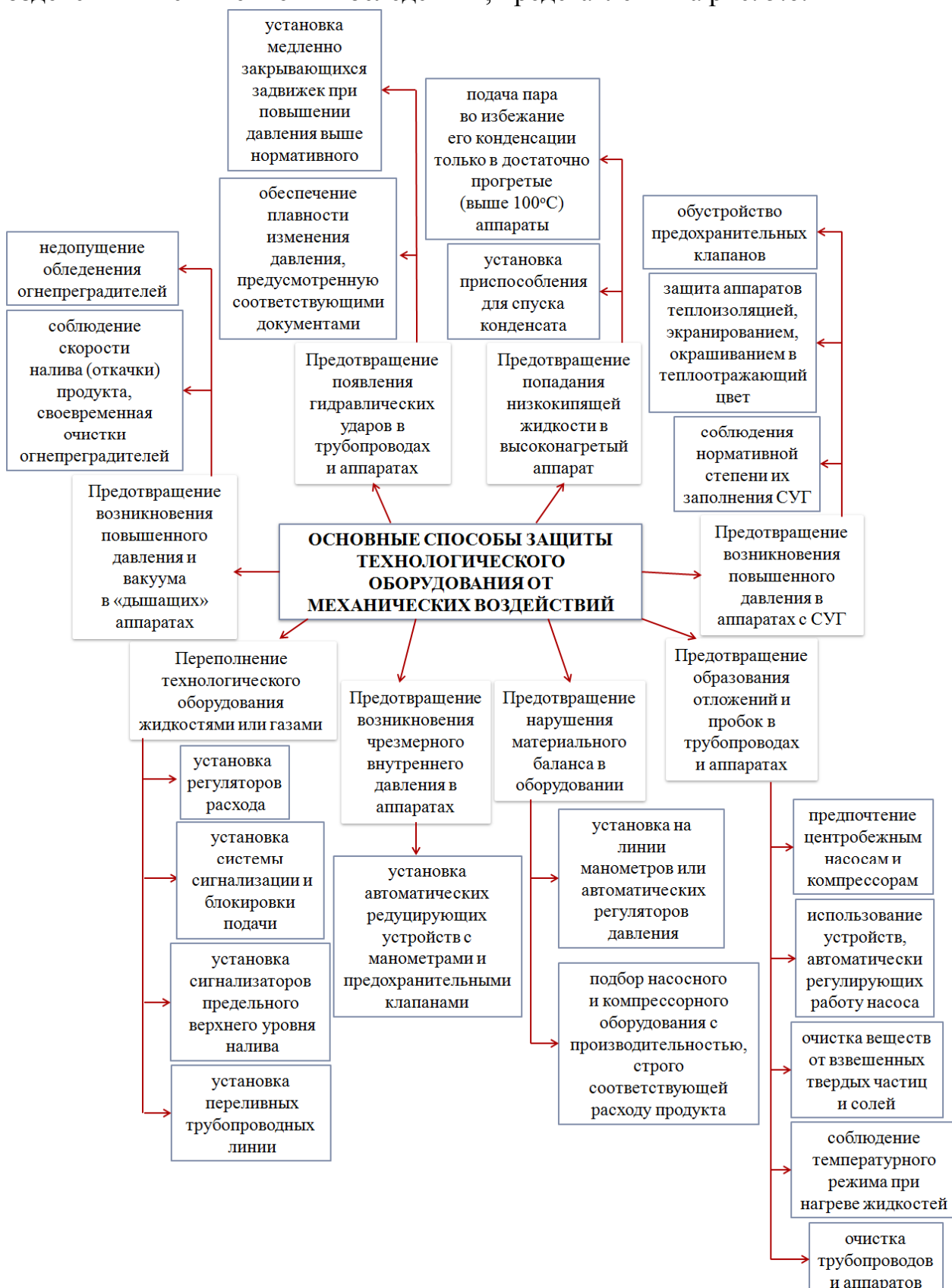


Рис. 5.6. Основные способы защиты технологического оборудования от механических воздействий

Мероприятия, направленные на исключение возможности температурных воздействий и снижение их последствий, представлены на рис. 5.7.

Мероприятия, направленные на исключение возможности химических воздействий и снижение их последствий, представлены на рис. 5.8.



Рис. 5.7. Основные способы защиты технологического оборудования от температурных воздействий

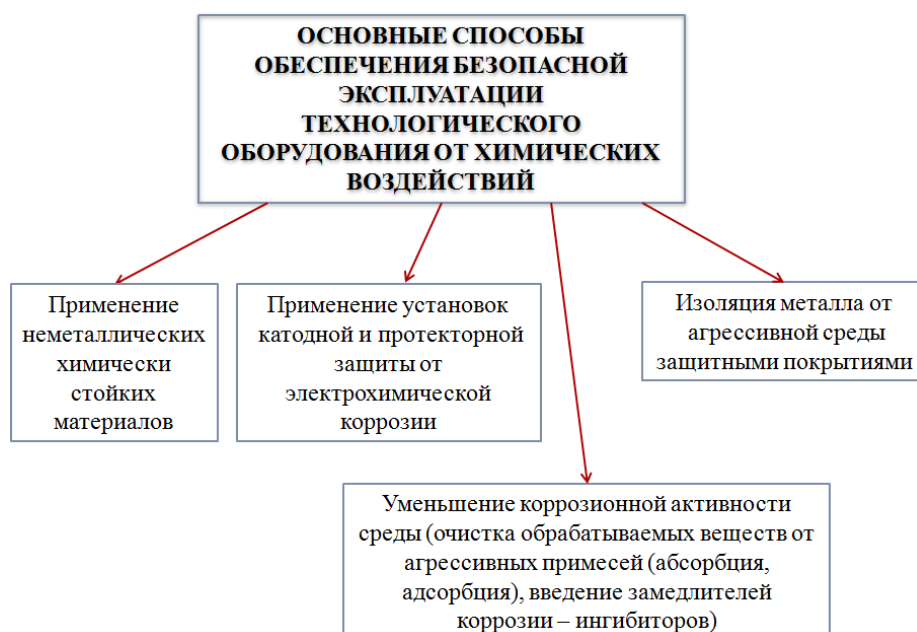


Рис. 5.8. Основные способы защиты технологического оборудования от химических воздействий

## **Контрольные вопросы**

1. Какие причины повреждения технологических аппаратов и оборудования вы знаете?
2. Что является причинами динамических воздействий на технологическое оборудование?
3. Какие виды химических коррозий воздействуют на технологическое оборудование?
4. Какие виды электрохимических коррозий воздействуют на технологическое оборудование?
5. Перечислите основные способы защиты технологического оборудования от механических воздействий.
6. Перечислите основные способы защиты технологического оборудования от температурных воздействий.
7. Перечислите основные способы защиты технологического оборудования от химических воздействий.

### **6. Пожарная опасность образования горючей среды при повреждении технологических аппаратов**

Понятие чрезвычайной ситуации (ЧС) представляет собой ситуацию на конкретной территории, возникающую в итоге аварии, катастрофы, опасного естественного явления, стихийного или же другого бедствия, которые могут повлечь или же повлекли за собой человеческие жертвы, вред здоровью населения или окружающей среде, значительные материальные потери и несоблюдение условий жизнедеятельности людей.

По признаку вовлеченности органов власти, политических деятелей, международных организаций и т. д., чрезвычайные ситуации классифицируют на конфликтные и бесконфликтные. Конфликтные чрезвычайные ситуации включают в себя:

- национальные и религиозные конфликты;
- социальные взрывы;
- экономические кризисы;
- военные столкновения;
- терроризм;
- повышение уровня преступности;
- экстремистское политическое противостояние;
- крупномасштабная коррупция.

Бесконфликтные чрезвычайные ситуации классифицируются по большому количеству признаков, описывающих явления с разных сторон их происхождения.

Масштаб распространения, темп развития и природа происхождения – так классифицируют по трем основным направлениям все чрезвычайные ситуации.

По масштабу распространения чрезвычайных ситуаций необходимо учитывать не только размеры территории, подвергнувшейся воздействию ЧС, но и

возможные ее косвенные последствия, а именно тяжелые нарушения организационных, финансовых, общественных и иных значительных связей, действующих на определенных расстояниях, а также тяжесть последствий, которая и при незначительной территории ЧС вероятнее всего может быть большой и трагичной.

Таблица 6.1

Классификации чрезвычайных ситуаций по масштабу [5]

Наименование	Определение
Локальные (частные) чрезвычайные ситуации	Возникают локально и организационно на малой территории (рабочее место, участок дороги, жилое помещение). При этом количество пострадавших не превышает 10 человек, лишены нормальных условий жизнедеятельности не более 100 человек или материальный ущерб не превышает 1000 минимальных размеров оплаты труда на данной территории
Местная чрезвычайная ситуация	В результате местной ЧС может пострадать от 10 до 50 человек или могут быть лишены нормальных условий жизнедеятельности от 100 до 300 человек. При этом территория, на которой реализуются последствия местной ЧС, не выходит за пределы населенного пункта, муниципального района и так далее и ликвидация ее осуществляется собственными силами и средствами
Территориальная чрезвычайная ситуация	Возникает на территории субъекта РФ и не выходит за его пределы. При этом в результате аварии, катастрофы или стихийного бедствия может пострадать от 50 до 500 человек, лишены нормальных условий жизнедеятельности от 300 до 500 человек или материальный ущерб составляет от 5000 до 500000 минимальных размеров оплаты труда
Региональные чрезвычайные ситуации	Возникают на территории нескольких регионов (республик) или в экономическом районе. Ликвидация последствий ЧС осуществляется силами и средствами данной территории с привлечением федеральных сил. При этом пострадало от 50 до 500 человек, лишены нормальных условий жизнедеятельности от 500 до 1000 человек или материальный ущерб составляет от 500000 до 5000000 минимальных размеров оплаты труда
Федеральные чрезвычайные ситуации	Возникают на территории страны, не выходя за ее границы, и охватывают значительные территории. Для ликвидации последствий привлекаются все силы, средства и ресурсы, в том числе и помощь иностранных государств. Количество пострадавших превышает 500 человек, лишены нормальных условий жизнедеятельности свыше 1000 человек или материальный ущерб превышает 5000000 минимальных размеров оплаты труда
Глобальные (трансграничные) чрезвычайные ситуации	Возникают на обширных территориях, в том числе и на территориях нескольких стран. При этом последствия ликвидируются силами и средствами как пострадавших стран, так и международного сообщества

По характеру источника возникновения чрезвычайной ситуации их подразделяют на 3 крупные группы (рис. 6.1).



Рис. 6.1. Классификация чрезвычайных ситуаций

Чрезвычайные ситуации по масштабу и области применения наименований классифицируются на следующие виды:

- авария;
- крупная авария;
- проектная авария;
- максимальная проектная авария.

Определения, характеризующие виды чрезвычайных ситуаций приведены на рис. 6.2.

Наибольшая пожаровзрывоопасная обстановка на промышленных объектах может привести к катастрофическим последствиям, которая может возникнуть в итоге аварийного выхода горючих веществ из технологического оборудования.

Как правило, выброс горючих материалов из поврежденного технического оборудования вызывает образование очагов пожара или взрыва, а при наличии источника огня вызывает возгорание горючих материалов или взрыв горючих смесей, что приводит к пожару на производственных объектах.

Фактическая оценка масштаба последствий аварийных ситуаций, которые могут возникнуть на производственном оборудовании, и необходимых условий для формулирования противопожарных мероприятий заключается в количественном анализе опасной среды в зоне отвода горячего материала от поврежденного оборудования.



Рис. 6.2. Классификация аварий по масштабу и области применения наименований

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

При определении параметров взрывопожароопасности технологических процессов большое значение имеет количество горючих веществ, которые будут участвовать в пожаре или взрыве. На данную величину оказывают влияние множество параметров. Эти параметры зависят, в свою очередь, от агрегатного состояния горючего вещества. Исходя из этого следует определять количество горючих веществ по группам: отдельно для жидкостей, газов и твердых веществ.

Для аппаратов с горючими и легковоспламеняющимися жидкостями количественная оценка опасной среды при локальном повреждении корпуса или трубопровода осуществляется по алгоритму, представленному на рис. 6.3.

Так как рассматривается задача, в которой истечение жидкости происходит при локальном повреждении аппарата, то необходимо учитывать геометрические параметры этого отверстия. Для оценки геометрических параметров отверстия принимается площадь сечения ( $f$ ).

Значение коэффициента расхода лежит в пределах от 0,45 до 0,85 и зависит от вязкости жидкости, формы сечения отверстия и толщины стенки аппарата.

Скорость истечения жидкости зависит от наличия или отсутствия давления в емкости аппарата ( $P_{р.и.}$ ), которое характеризуется напором, а также от ускорения свободного падения, которое составляет  $9,81 \text{ м/с}^2$  и высоты столба жидкости ( $H$ ).

Длительность истечения жидкости принимается в соответствии с техническими характеристиками запорных устройств, которые должны блокировать подачу жидкости в аппарат при реализации пожароопасной ситуации. При этом автоматические системы блокировки позволяют принимать время истечения равным:

- времени срабатывания при значении вероятности отказа устройств не превышающем  $0,000001$  в год и элементы автоматики резервированы;
- 120 с, если данных о параметрах автоматики недостаточно.

В случае если блокирование подачи жидкости в аппарат осуществляется в ручном режиме и система автоматики отсутствует, то время отключения принимается равным 300 с.

Определив количество жидкости, которая поступит в помещение или окружающее пространство, необходимо определить количество паров, которые испарятся с поверхности разлива. Это необходимо для того, чтобы оценить последствия пожара или взрыва, которые возникнут при сгорании этих паров. Количество паров зависит от интенсивности испарения, площади разлива жидкости и длительности испарения.

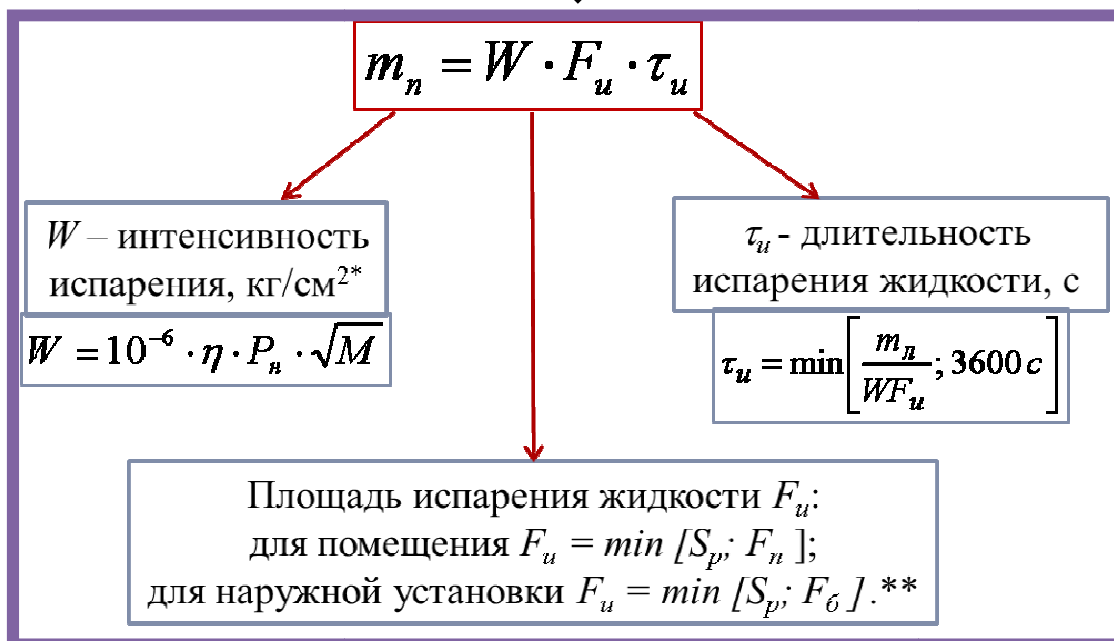
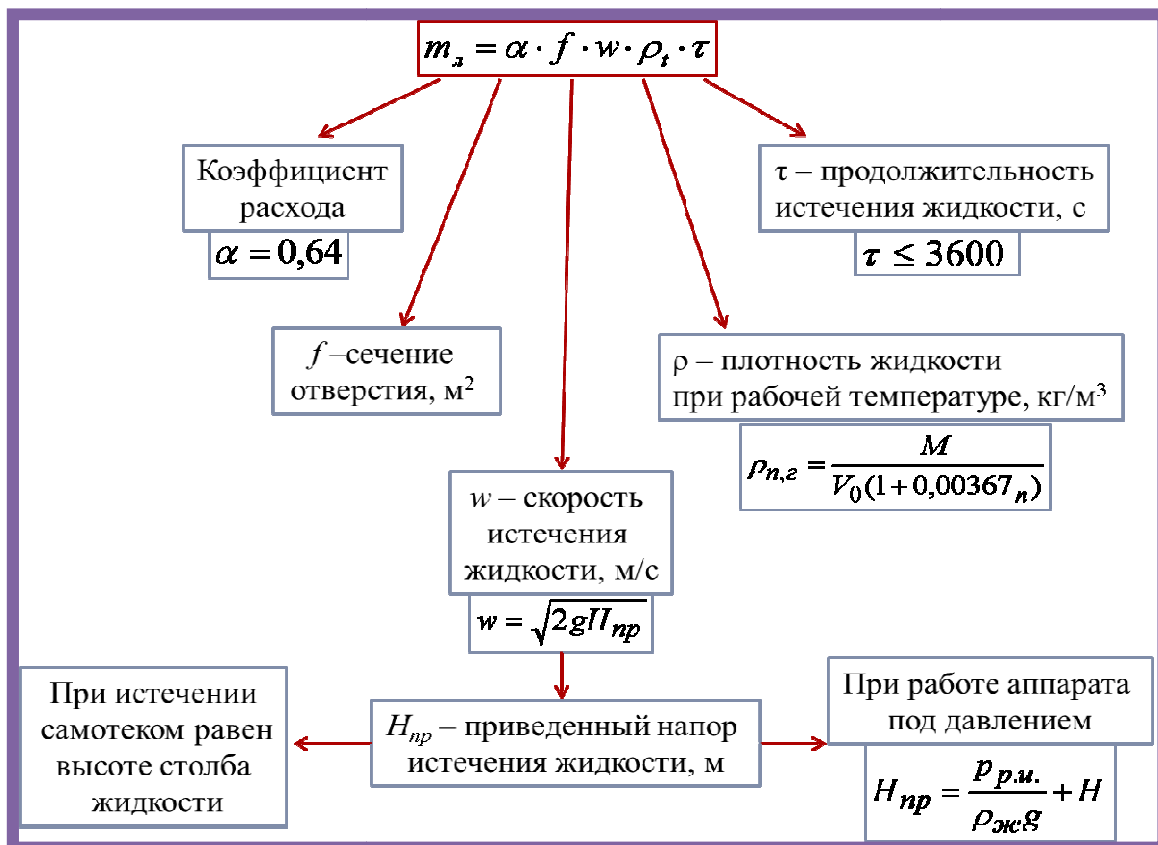


Рис. 6.3 (начало). Порядок определения количества опасной среды и степени ее распространения:



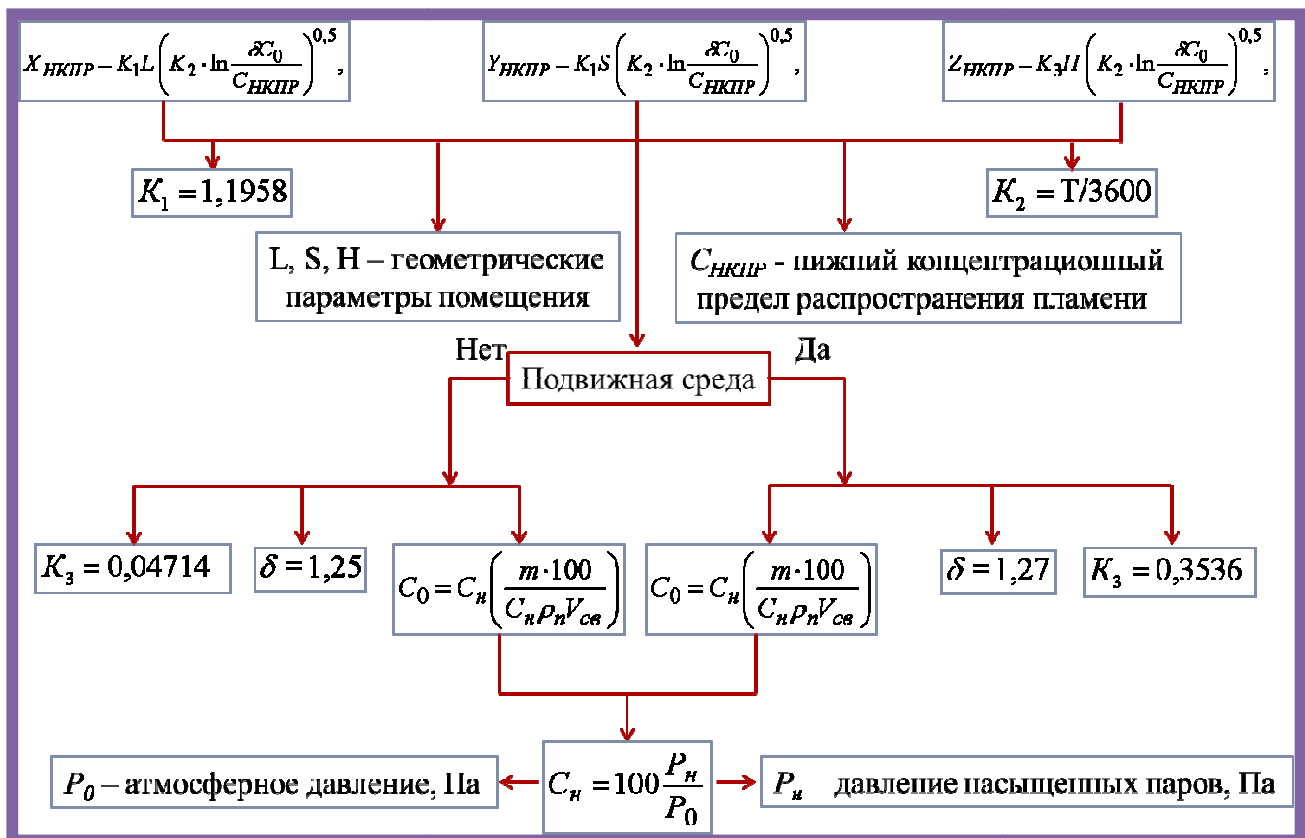


Рис. 6.3 (окончание). Порядок определения количества опасной среды и степени ее распространения:

- \*- Интенсивность испарения оценивается в соответствии со значениями давления насыщенных паров ( $P_n$ ) и коэффициента, который зависит от температуры и скорости движения воздушных потоков ( $\eta$ );
- \*\* - площадь испарения оценивается в соответствии с площадью разлива жидкости ( $S_p$ ) и площади, ограниченной конструкциями помещения или бортиками, обвалованиями для наружных установок

Давление насыщенных паров зависит от свойств жидкости и ее температуры. Определение данной величины осуществляется с помощью уравнения Антуана:

$$LgP_n = A - \frac{B}{C_A + t_p}, \quad (6.1)$$

$A, B$  и  $C_A$  – это константы уравнения, которые определяются экспериментальным путем и содержатся в справочной литературе;

$t_p$  - температура, которая определяется как максимально возможная температура для территории, на которой располагается производственный объект, или температура, предусмотренная технологическим регламентом.

Коэффициент  $\eta$  определяется по табл. 6.2.

Численное значение коэффициента  $\eta$  [6]

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

Если значение температуры лежит между значениями, в табл. 6.2, то значение коэффициента определяется с помощью интерполяции:

$$\eta = \eta_1 + \frac{\Delta\eta}{\Delta t}(t_p - t_1), \quad (6.2)$$

где  $\eta_1$  – минимальное значение коэффициента  $\eta$ , которое соответствует температуре ниже, чем рабочая;

$\Delta\eta$  - разность между значениями  $\eta_1$  и  $\eta_2$ ;

$\Delta t$  - разность между температурами, в пределах которых лежит рабочая температура, °С;

Площадь испарения жидкости зависит от ее состава. Принято считать, что если жидкость содержит в своем составе 70 % и менее растворителей, то 1 л разливается на 0,5 м<sup>2</sup> площади пола помещения и 0,10 м<sup>2</sup> на горизонтальной поверхности вблизи наружной установки, если более 70 %, то на 1 м<sup>2</sup> площади пола помещения и 0,15 м<sup>2</sup> вблизи наружной установки [6].

При этом необходимо также учитывать возможность разлива определенного объема жидкости, так как нередко бывает, что площадь разлива, полученная расчетным методом, превышает площадь пола в помещении. Из этого следует, что необходимо площадь испарения принимать как минимальное значение между площадью разлива и геометрическими размерами горизонтальной зоны (площадь пола помещения или площадь вблизи наружной установки, которая ограничена обвалованием, бортиками и т. д.).

Определяется объем жидкости как отношение массы вышедшей жидкости  $m_l$  при локальном повреждении аппарата к плотности этой жидкости:

$$V_{жс} = m_l / \rho_{жс}, \quad (6.3)$$

На рис. 6.3 представлены формулы для определения геометрических размеров зон производственного помещения, на которые распространится взрывопожароопасная концентрация горючих паров в смеси с воздухом. Для определения геометрических размеров этих зон, которые оцениваются как радиус, на открытом пространстве применяются формулы, представленные на рис. 6.4.

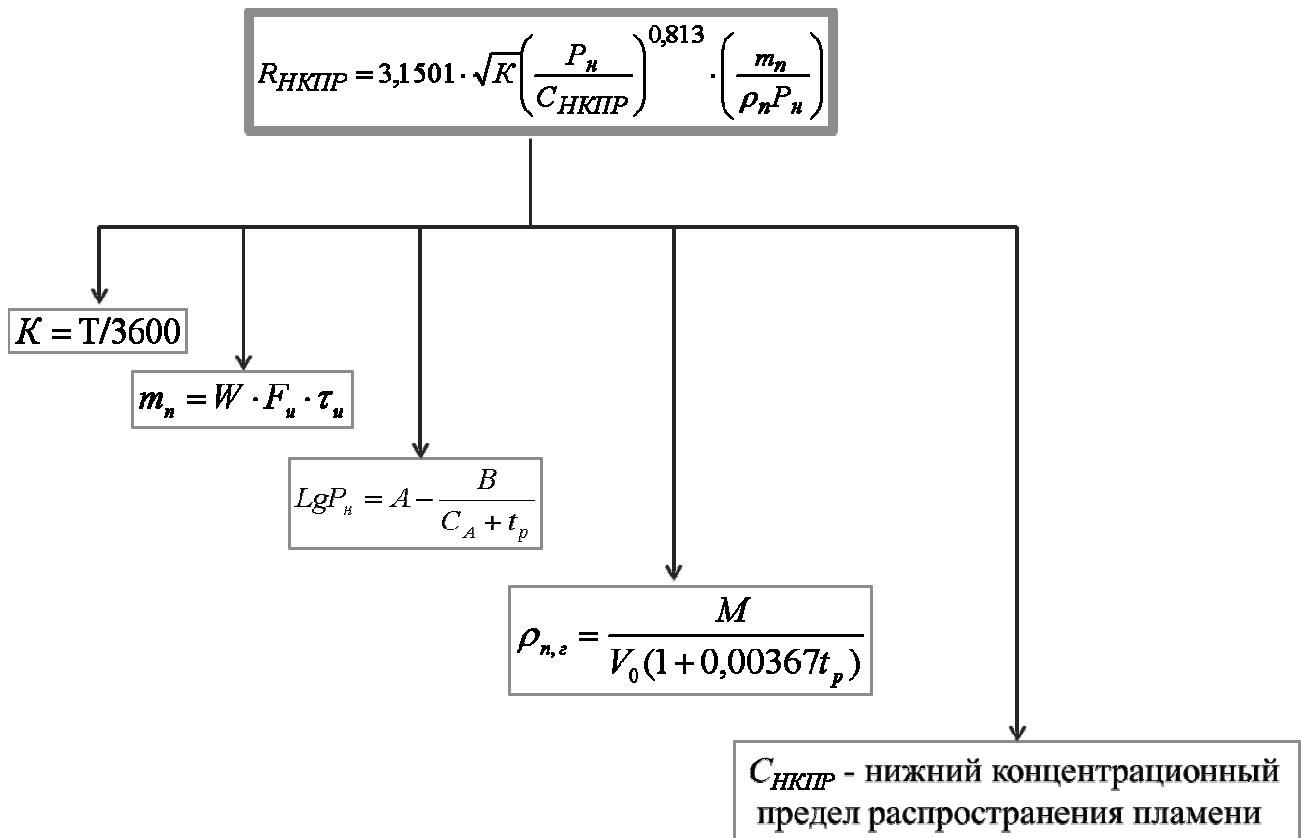


Рис. 6.4. Определение радиуса распространения взрывоопасных концентраций горючих паров в смеси с воздухом

Для определения количества газов, которые поступят в помещение или окружающую среду при локальном разрушении технологического оборудования, применяют методику, описанную на рис. 6.5.

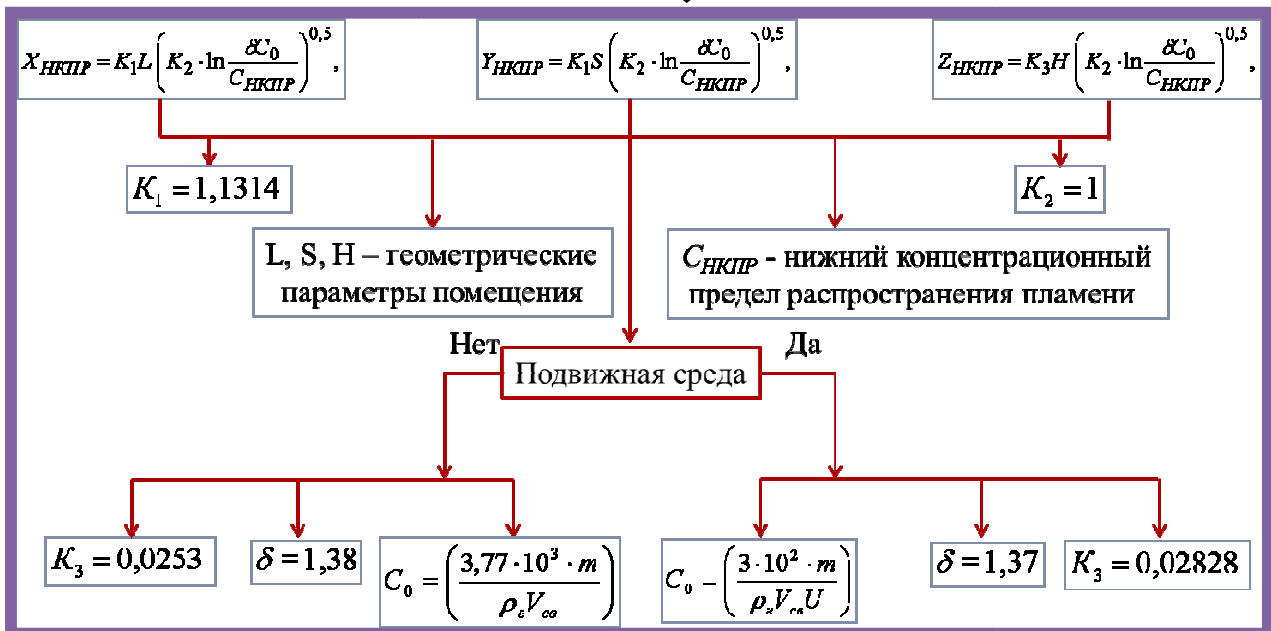
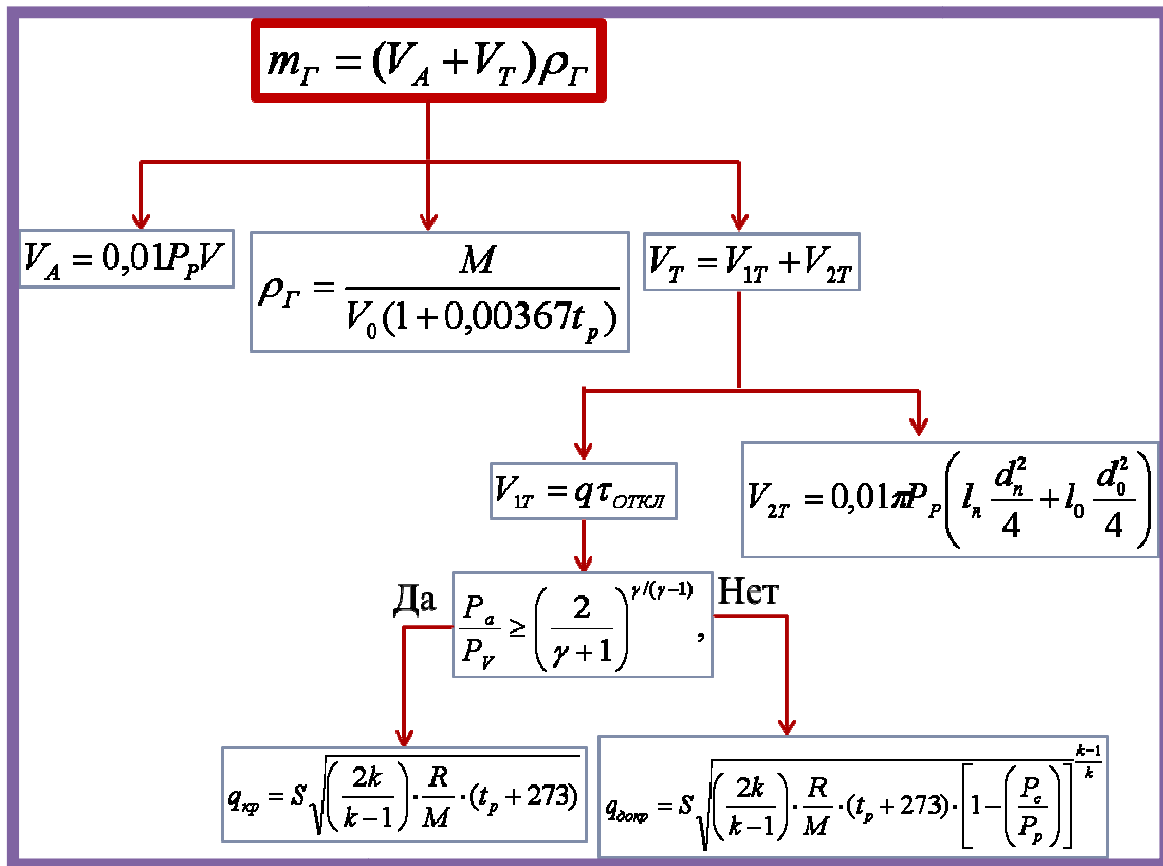


Рис. 6.5 (начало). Методика определения количественных характеристик при истечении газа

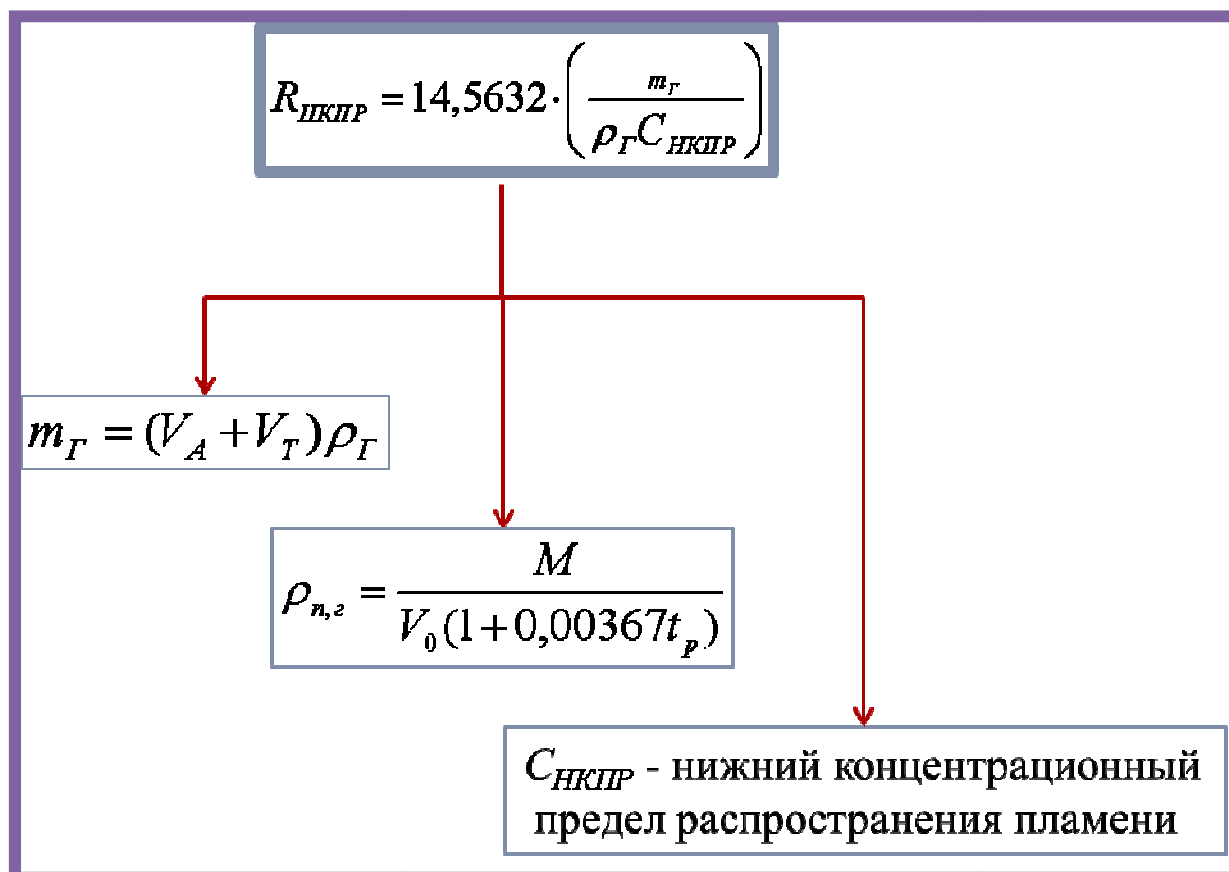


Рис. 6.5 (окончание). Методика определения количественных характеристик при истечении газа

Значение объема горючего газа, который поступит из аппарата в производственное помещение, определяется исходя из объема жидкости в аппарате и рабочего давления внутри него.

Плотность газа при заданной температуре определяется аналогично с определением плотности пара.

Объем газа, который выйдет из трубопроводов, определяется как сумма объемов газа, которые выйдут из трубопровода до и после его отключения. При этом объем газа, который выйдет из трубопровода до его отключения, определяется в зависимости от производительности насоса, перемещающего газ и времени отключения подачи газа. В случае, если истечение из трубопровода происходит самотеком, то расход газа определяется в соответствии с режимом истечения газа. При этом существует два режима истечения газа: докритический и критический. Режим определяется исходя из неравенства. Если неравенство выполняется, то режим является докритическим, если не выполняется, то критическим. При расчете используются величины, представленные в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Значения величин для определения количественных характеристик газов при локальном разрушении аппарата [3]

Наименование	Обозначение	Единицы измерения
Объем газа, вышедшего из аппарата	$V_A$	$\text{м}^3$
Объем газа, вышедшего из трубопровода	$V_T$	$\text{м}^3$
Плотность газа	$\rho_G$	$\text{кг}/\text{м}^3$
Рабочее давление	$P_p$	кПа
Объем аппарата	$V$	$\text{м}^3$
Молярная масса	$M$	кг/кмоль
Рабочая температура	$t_p$	$^{\circ}\text{C}$
Объем газа, вышедшего из трубопровода до прекращения подачи газа	$V_{1T}$	$\text{м}^3$
Объем газа, вышедшего из трубопровода после прекращения подачи газа	$V_{2T}$	$\text{м}^3$
Время отключения трубопровода	$\tau_{\text{откл}}$	с
Производительность (расход газа)	$q$	$\text{м}^3/\text{с}$
Длина трубопровода до устройств блокировки подачи газа	$l_{0,n}$	м
Диаметр трубопровода	$d_{0,n}$	м
Значение атмосферного давления	$P_a$	кПа
Внутреннее давление в газопроводе	$P_V$	кПа
Показатель адиабаты	$\gamma$	-
Площадь внутреннего сечения газопровода	$S$	$\text{м}^2$
Давление окружающей среды, в которую происходит истечение газов	$P_S$	Па
Критическое давление	$P_{KP}$	Па
Показатель адиабаты	$k$	-

Доля количества горючей пыли, которое выйдет из аппарата при его полном разрушении, определяется согласно методике, представленной на рис. 6.6.

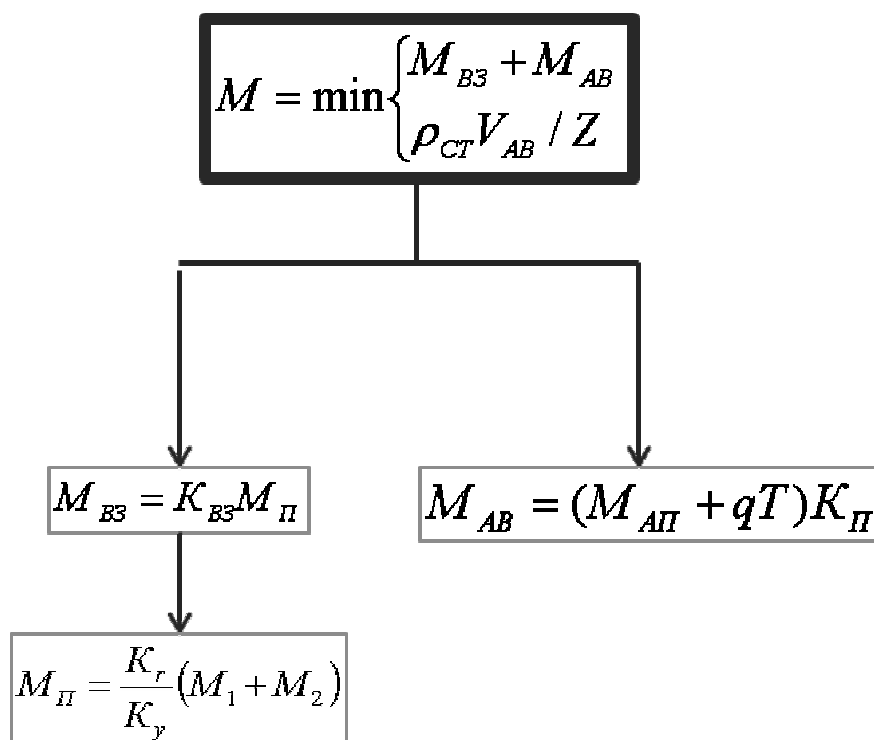


Рис. 6.6. Определение массы пыли, которая поступит в помещение при аварии

Масса пыли определяется как минимальное значение, полученное при следующих расчетах:

- определение суммы массы взвихрившейся пыли ( $M_{B3}$ ) и массы пыли, которая поступит в помещение при аварии ( $M_{AB}$ );
- определение отношения произведения стехиометрической концентрации пыли ( $\rho_{CT}$ ) с расчетным объемом пылевоздушного облака ( $V_{AB}$ ) к доле участия пыли в сгорании пылевоздушной смеси ( $Z$ ).

### Контрольные вопросы

1. Как классифицируются чрезвычайные ситуации?
2. Что влияет на длительность истечения жидкости из технологических аппаратов и трубопроводов?
3. Как определяется площадь поверхности испарения горючей жидкости при аварии в производственных помещениях?
4. Как определяется площадь поверхности испарения горючей жидкости при аварии вблизи наружных установок?
5. Какие параметры влияют на радиус распространения взрывоопасных концентраций горючих паров в смеси с воздухом?
6. Какие величины используются для определения количественных характеристик газов при локальном разрушении аппаратов?
7. Из каких показателей складывается масса пыли, выделившаяся в помещение при аварии?

## 7. Условия образования и воздействия производственных источников зажигания на горючую среду

Как известно, для возникновения горения необходимо присутствие в очаге пожара окислителя, источника зажигания и горючей среды. Окислителем на реальных пожарах чаще всего является кислород, содержащийся в атмосферном воздухе. В условиях ведения технологического процесса образование горючей среды может быть неотъемлемой частью производства. При этом появление источника достаточной мощности может быть единственным фактором, который возможно исключить с целью обеспечения пожарной безопасности. Исходя из этого, необходимо понимать, какие источники зажигания могут возникнуть в ходе технологического процесса и способны ли они воспламенить существующую горючую среду. Классификация источников зажигания представлена на рис. 7.1.



Рис. 7.1. Классификация источников зажигания

Постоянно действующие источники зажигания предусмотрены технологическим регламентом и постоянно присутствуют в технологическом оборудовании. Потенциально возможные источники зажигания возникают при реализации аварийных ситуаций.



При этом источник зажигания должен обладать достаточной мощностью, которая необходима для нагрева вещества до температуры воспламенения. Мощность характеризуется значением минимальной энергии зажигания. Для того, чтобы взаимодействие источника зажигания и горючей среды привело к горению, должны выполняться условия, представленные в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Условия возникновения горения

Условие	Формула
Температура точечного источника зажигания (искры) $T_{и}$ больше или равна температуре самовоспламенения горючей среды $T_{смв}$ , в контакте с которой находится искра	$T_{и} \geq T_{смв}$
Количество тепла, заключенное в искре, $q_{и}$ больше или равно минимальной энергии зажигания горючей среды $q_{мин}$	$q_{и} \geq q_{мин}$ ; (критическое условие зажигания искрой)
Время действия искры $\tau_{и}$ (определяется при охлаждении искры до $T_{смв}$ ) больше периода индукции горючей среды $\tau_{инд}$	$\tau_{и} \geq \tau_{инд}$

Источниками открытого огня могут быть как огневые работы, так и вынужденное сжигание топлив для осуществления технологических процессов (рис. 7.2).

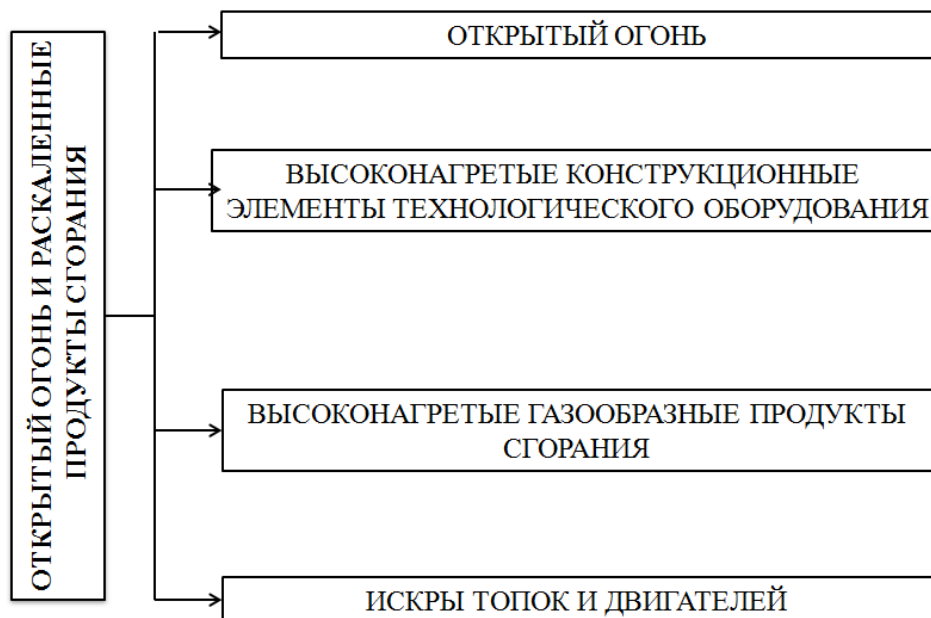


Рис. 7.2. Источники зажигания, обусловленные применением открытого огня и сжигания топлив в процессе производства

Современные производственные объекты не обходятся без использования электрической энергии. При нормальном режиме работы электросети электрическая энергия не представляет пожарной опасности, но в результате аварийного режима ее работы повышается температура проводников и, следовательно, возможность возникновения пожара. Также электрическая энергия может проявляться в виде разрядов атмосферного или статического электричества. Разряд атмосферного электричества, опасность которого характеризуется ударом молнии в части объекта, приводит к негативным последствиям также и косвенно. Искровые разряды статического электричества возникают при трении разнородных веществ и материалов, например при перемещении жидкости по металлическим или пластиковым трубопроводам. Энергии такого разряда достаточно для зажигания газопаровоздушных смесей. Классификация источников зажигания электрической природы представлена на рис. 7.3.

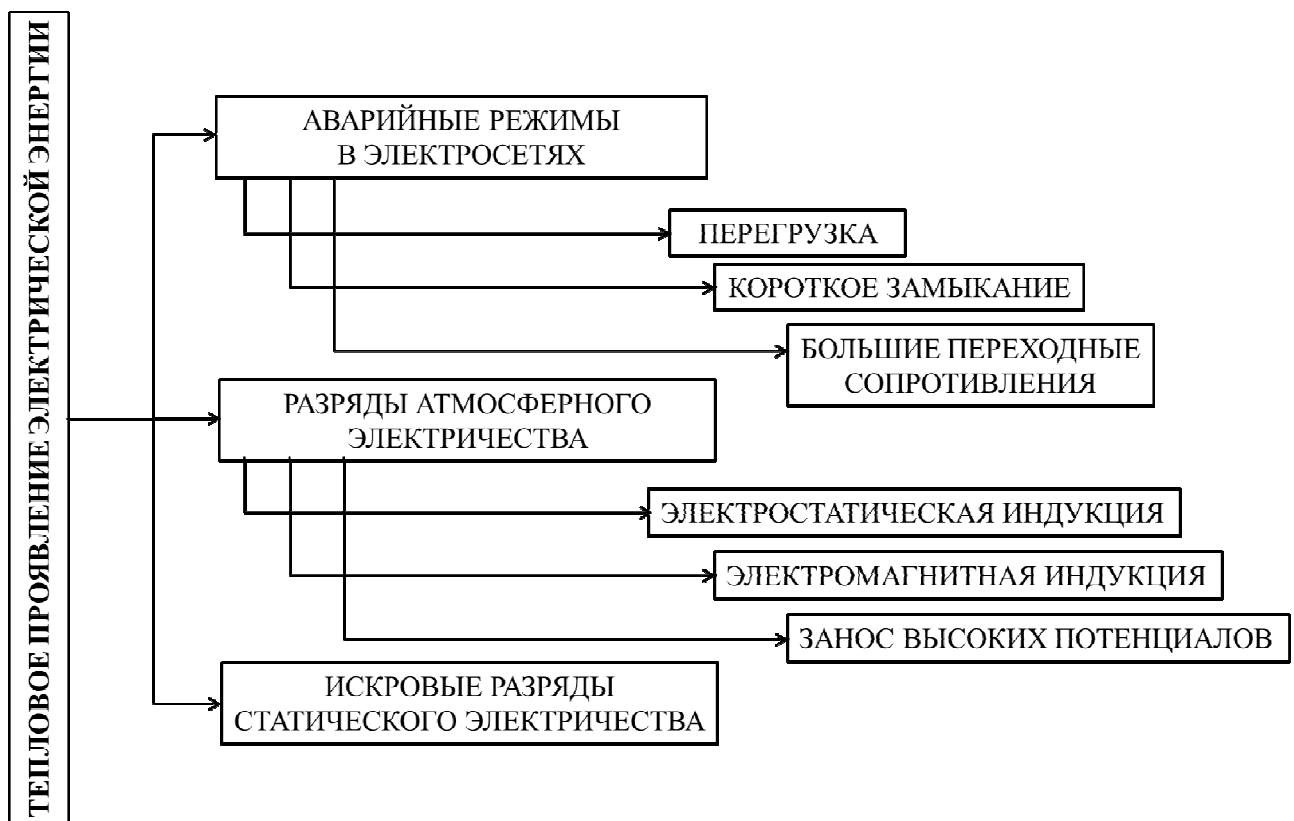


Рис. 7.3. Источники зажигания электрической природы

В результате осуществления механических операций может образовываться энергия, которая преобразуется в тепло. При воздействии такой тепловой энергии на горючую среду может возникнуть пожар или взрыв.

Преобразование механической энергии в тепловую может осуществляться как при нормальном режиме работы оборудования, так и при его нарушении в результате попадания чужеродных тел в движущиеся части оборудования,

неисправностей отдельных узлов и деталей, а также нарушении требований пожарной безопасности обслуживающим персоналом.

Источники теплового проявления механической энергии представлены на рис. 7.4.

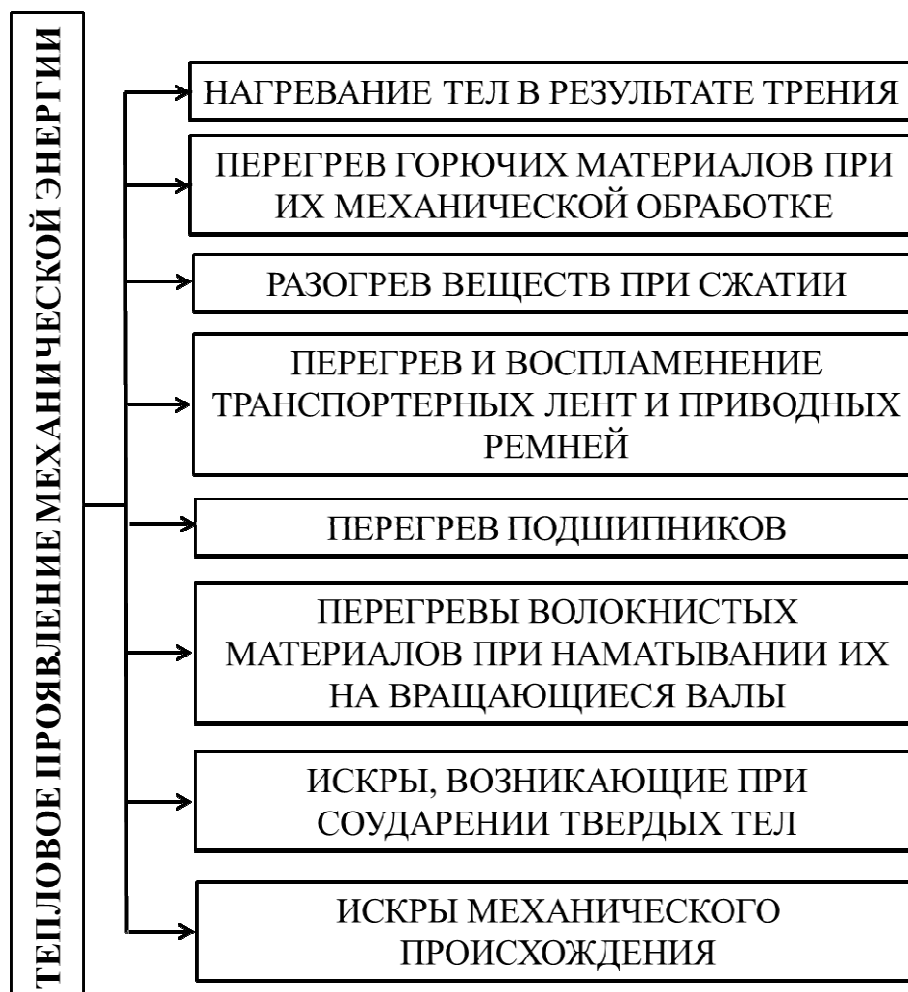


Рис. 7.4. Источники зажигания механической природы

Тепловые проявления также возникают в ходе превращения веществ. Химические реакции по тепловым характеристикам разделяются на:

- экзотермические, которые протекают с выделением тепла;
- эндотермические, для протекания которых требуется поглощение тепла.

При этом высокой пожарной опасностью обладают химические реакции, протекание которых сопровождается выделением тепла.

Рассматривая химические процессы, необходимо учитывать опасность, которая возникает в результате взаимодействия веществ, которые обладают способностью взрываться и гореть при контакте с атмосферным кислородом, водой или друг с другом. Такие процессы называются химическим самовозгоранием. Классификация источников тепла химической природы представлена на рис. 7.5.



Рис. 7.5. Источники зажигания химической природы

### 7.1. Мероприятия, направленные на исключение источников зажигания

Мероприятия, направленные на исключение производственных источников зажигания целесообразно разрабатывать в соответствии с технологическими процессами и оборудованием, которые являются источниками тепловыделения.

Открытый огонь и раскаленные продукты сгорания образуются при сжигании топлив в огневых печах, сжигании побочных продуктов производства в факельных установках и при осуществлении огневых работ.

При эксплуатации данного оборудования происходит выделение лучистого тепла, теплопередача от высоконагретых стенок аппаратов и теплообменных поверхностей, а также конвективная теплопередача раскаленными газообразными продуктами сгорания.

Перечень мероприятий, направленных на исключение возможности воздействия открытого огня и раскаленных продуктов сгорания огневых печей на горючую среду, представлены на рис. 7.6.

Факельные установки предназначены для утилизации газов и паров, которые образуются как побочный продукт производства и не могут реализовываться в дальнейшем. При этом неправильное исполнение устройства факельной установки может привести к негативным последствиям, которые показаны на рис. 7.7.

Перечень мероприятий, направленных на исключение воздействия тепла от факельных установок, представлены на рис. 7.6.



Рис. 7.6. Перечень мероприятий для предупреждения опасного проявления аппаратов огневого действия



Рис. 7.7. Перечень негативных последствий неправильного устройства факельных установок

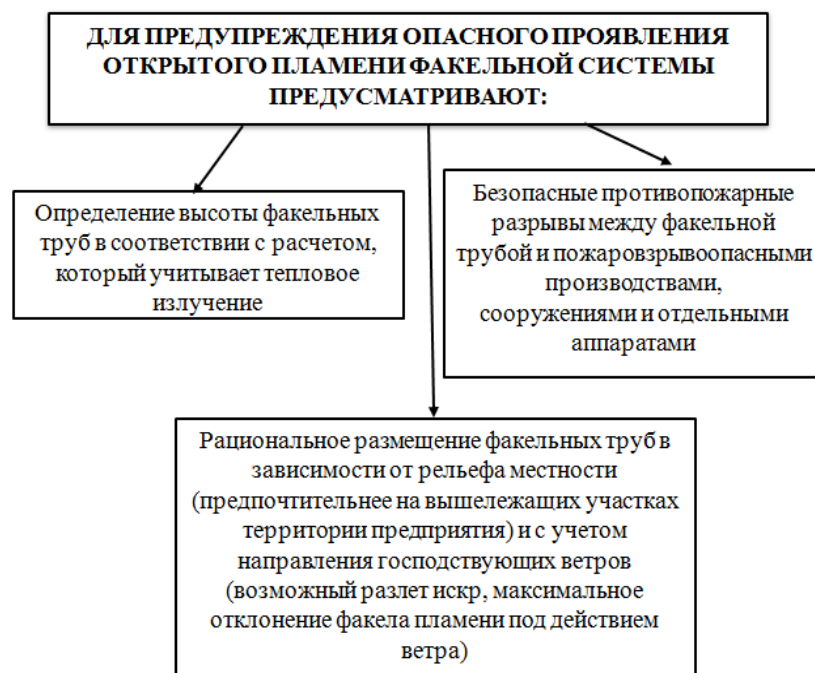


Рис. 7.8. Мероприятия для предупреждения опасного проявления открытого пламени факельной системы

Для предупреждения негативных последствий неправильного устройства факельной установки применяются мероприятия, представленные на рис. 7.9.

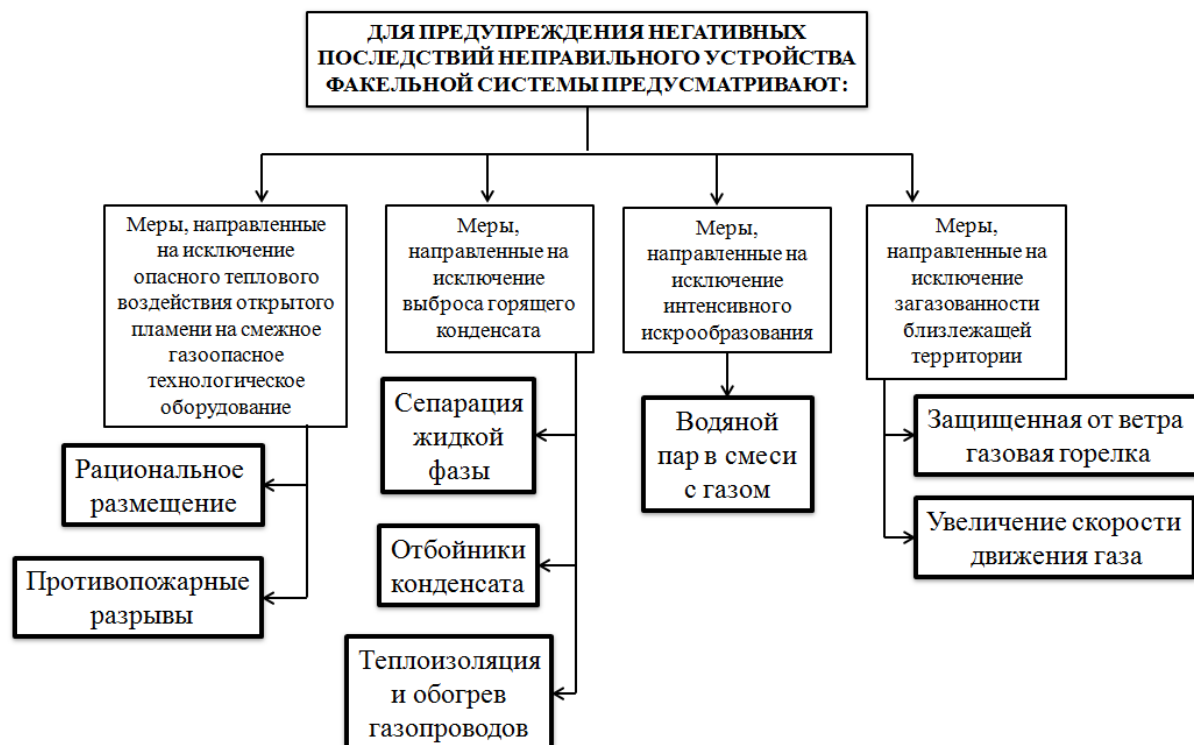


Рис. 7.9. Перечень мероприятий, направленных на предупреждение негативных последствий неправильного устройства факельной системы

Также искры могут образовываться в топках и двигателях. Образование искр обусловлено неполнотой сгорания топлива. При этом не сгоревшие в топке или двигателе частички углерода, улетая с газообразными продуктами горения (выхлопными газами), продолжают гореть. Также искрообразование может произойти в результате отложения сажи и масла на поверхностях оборудования. Такие искры представляют собой источники зажигания малой мощности, то есть зажечь они могут только стехиометрическую газопаропылевоздушную смесь или вещества, которые имеют небольшой период индукции в результате их нагрева. Перечень мероприятий, направленных на исключение образования искр в топках и двигателях, представлены на рис. 7.10.



Рис. 7.10. Перечень мероприятий, направленных на исключение искрообразования в топках и двигателях

Также для исключения образования источников зажигания при работе топок и двигателей внутреннего сгорания используются специальные устройства для улавливания и гашения искр. Данные устройства по принципу действия классифицируются на 4 группы (рис. 7.11).

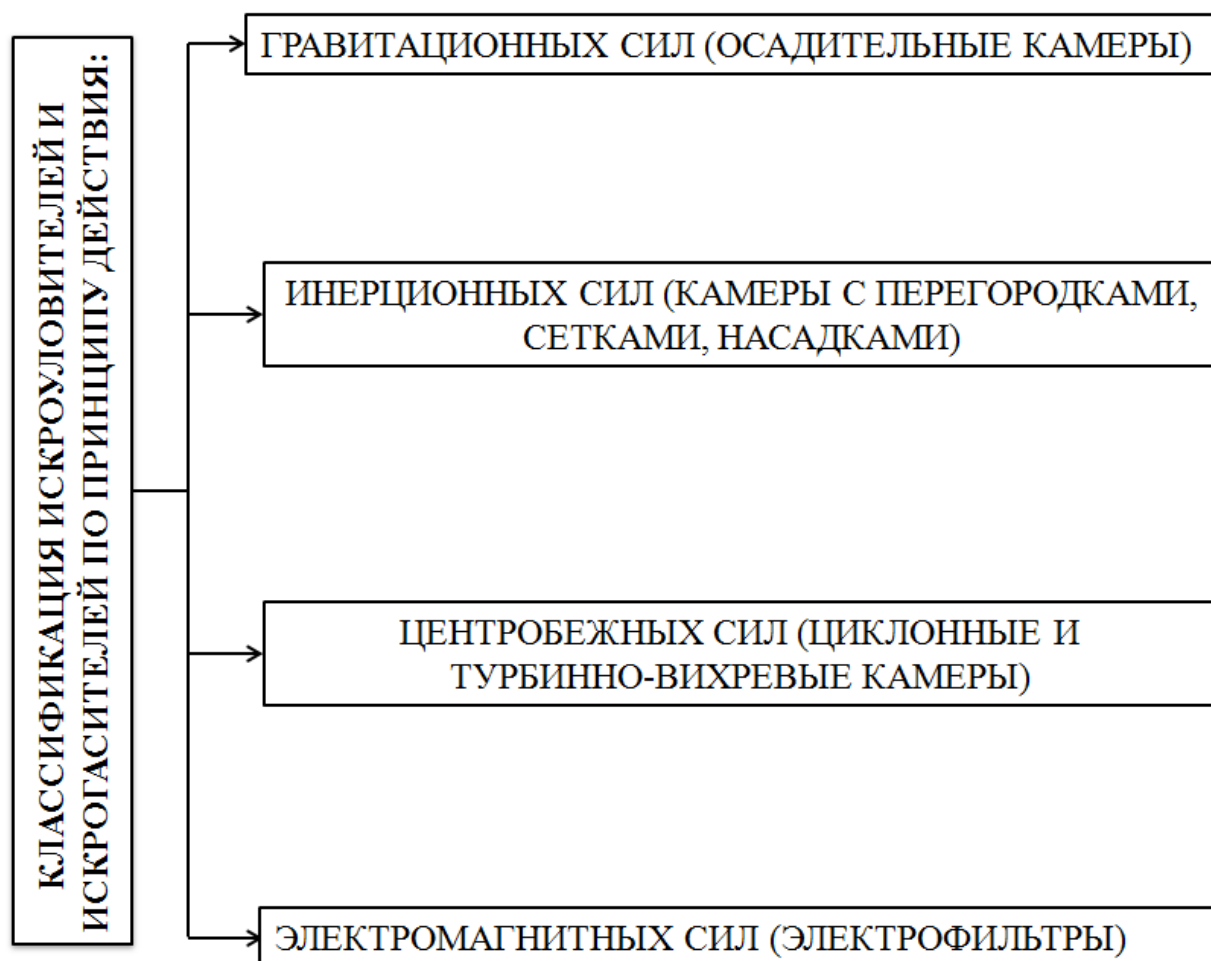


Рис. 7.11. Классификация искроуловителей и искрогасителей

Принцип работы искроуловителей гравитационных сил заключается в осаждении взвешенных искр за счет снижения скорости движения газообразных продуктов сгорания топлива, которое достигается путем увеличения живого сечения. Осевшие на дне камеры искры удаляются при очистке.

Принцип работы искроуловителей инерционных сил основан на применении камеры, которая имеет множество перегородок. В такой камере газообразные продукты сгорания топлива вынуждены двигаться по лабиринтообразному пути, в результате чего значительно снижается скорость искр, которые, ударяясь о перегородки, осаждаются на дне камеры.

В искроуловителях центробежных сил газообразные продукты сгорания топлива приобретают вращательное движение, в результате которого центробежная сила отбрасывает искры к стенкам камеры. Искры, ударяясь о стенки камеры, теряют свою скорость и оседают в нижней части циклона.

Принцип работы искроуловителей электромагнитных сил основан на использовании электрического поля высокого напряжения, в котором возникают электромагнитные силы.

Высоконагретые газообразные продукты сгорания топлива также являются источником тепловыделения. Образование газообразных продуктов сгорания



происходит в результате контролируемой химической реакции горения в оборудовании. При этом при сгорании топлив выделяются газы и пары, которые уносят с собой мельчайшие частички сажи.

Удаление газообразных продуктов горения происходит по специальным дымовым каналам, которые изготавливаются из металла или кирпича. При этом выход продуктов сгорания из дымового канала возможен при нарушении его целостности или неплотности в соединениях. Для исключения возможности выхода продуктов сгорания из дымовых каналов обеспечивается непрерывный контроль за состоянием и исправностью кирпичной кладки или металлических дымовых каналов. Так как металлические стенки дымовых каналов обладают высокой теплопроводностью, их следует теплоизолировать негорючими материалами.

При осуществлении механических процессов производства взаимное перемещение соприкасающихся тел приводит к трению. При этом эти тела разогреваются и отдают тепло в окружающую среду. Таким образом происходит преобразование механической энергии в тепловую.

Наиболее опасными, с точки зрения пожарной безопасности, являются следующие механические процессы:

- соударение твердых тел;
- поверхностное трение тел;
- сжатие газов.

Удары твердых тел и поверхностное трение могут также привести к образованию ударных искр и искр трения. Данные искры представляют собой мелкие частицы металла или камня. Такие искры являются маломощными источниками зажигания, за исключением пирофорных искр. Эти искры образуются при соударении или трении пирофорных материалов, которые способны окисляться и гореть в воздухе.

Искры непирофорных веществ, отлетая от места возникновения, очень быстро охлаждаются и не способны воспламенить твердые вещества даже в измельченном состоянии, но при этом способны стать источником зажигания для газопаровоздушных смесей.

Пирофорные искры, отлетая от места возникновения, продолжают окисляться и гореть в воздухе, тем самым повышая свою температуру и зажигательную способность.

Методы исключения возможности образования и разлета искр при ведении технологического процесса представлены на рис. 7.12.

При взаимном перемещении двух соприкасающихся тел их перемещению препятствует сила трения. Для преодоления силы трения требуется энергия, которая в результате преобразуется из механической в тепловую.

Высоконагретые трущиеся детали механизмов и машин могут стать источниками зажигания. Такими источниками тепловыделения в условиях технологического процесса являются:

- транспортные ленты;

- подшипники;
- волокнистые материалы, наматываемые на вращающиеся валы;
- приводные ремни;
- твердые материалы, подвергающиеся механической обработке.



Рис. 7.12. Причины образования искр и мероприятия, направленные на их исключение

На рис. 7.13 представлены методы повышения пожарной безопасности приводных лент.

При механической обработке веществ и материалов тепловыделение также обусловлено преодолением сил трения. Для снижения температуры нагрева в процессе механической обработки (резка, измельчение, шлифовка и т. д.) применяют следующие методы:

- использование заточенного инструмента;
- установление оптимальной скорости обработки;
- отвод тепла.

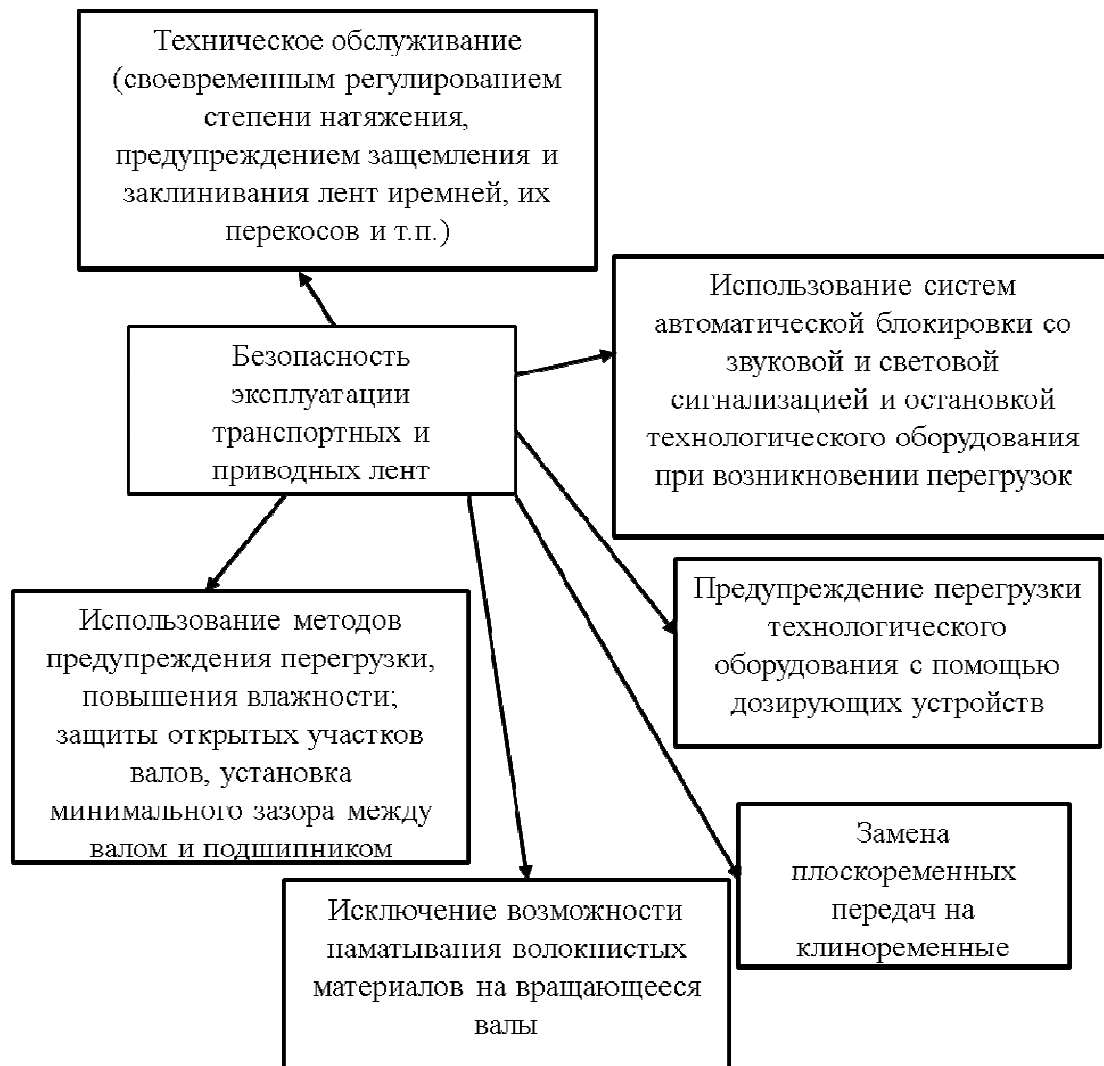


Рис. 7.13. Методы обеспечения безопасности эксплуатации транспортных и приводных лент

Для осуществления множества технологических процессов применяют сжатый воздух. Его получают путем сжатия (компримирования) газа с использованием компрессоров. При сжатии происходит преодоление межмолекулярных сил трения, которое требует значительных энергетических затрат. Эта энергия преодоления и преобразуется в тепловую. При этом происходит нарушение динамического равновесия между двумя силами: гравитации и электромагнитного поля. Основные причины тепловыделения и мероприятия, направленные на их устранение представлены на рис. 7.14.

Электротехнические источники зажигания могут возникать в трех случаях:

- аварийные режимы работы в электросетях;
- разряд статического электричества;
- разряд атмосферного электричества.

Существует три пожароопасных режима работы электросетей (табл. 7.2).



Рис. 7.14. Причины тепловыделения при сжатии газов и мероприятия, направленные на их устранение

Таблица 7.2

Пожароопасные аварийные режимы работы электросетей

Наименование аварийного режима в электросетях	Причины возникновения	Пожарная опасность
<b>Короткое замыкание</b>	электрическое соеденение двух точек с разными значениями потенциала (нарушение целостности изоляции, соеденение неизолированных проводников)	Повышение температуры в зоне замыкания (около 2000 – 4000 °С). Вероятность возникновения пожара определяется: - способностью материала изоляции загораться в результате контакта с токопроводящими жилами или электрической дугой; - возможностью взрывообразного разрушения материала проводника, сопровождающегося разлетом расплавленных частиц металла

Наименование аварийного режима в электросетях	Причины возникновения	Пожарная опасность
<b>Перегрузка</b>	Прохождение по проводнику тока, в несколько раз, превышающего номинальный (эксплуатация неисправного прибора, неправильно подобрано сечение кабеля, нарушение правил монтажа, повышение мощности оборудования).	Повышение температуры проводника с последующим заживанием изоляции, возникновением вторичного короткого замыкания
<b>Большие переходные сопротивления</b>	Повышенного сопротивления в результате контакта точек электросети с различной проводимостью тока (места неплотного контакта соединений)	В результате неплотного контакта в местах, где сопротивление выше номинального, при прохождении через него тока, происходит нагрев и выделение тепла на контакте. При этом происходит карбонизация изоляции, в результате чего ее электропроводность увеличивается и происходит утечка тока и ее еще больший разогрев

Мероприятия, направленные на исключение возможности возникновения аварийных режимов в электросетях представлены на рис. 7.15.

Статическое электричество может возникать при механическом воздействии на диэлектрические вещества и материалы в результате трения. Мощности разряда статического электричества достаточно для воспламенения газопаропылевоздушных смесей. Накопление разрядов статического электричества в условиях технологического процесса происходит по следующим причинам:

- отсутствуют или обладают недостаточной эффективностью мероприятия, направленные на защиту от статического электричества;
- в результате образования слоя отложений на поверхности заземляющего устройства;
- нарушение правил эксплуатации оборудования;
- отсутствие или неисправность заземляющих устройств.

Мероприятия, направленные на исключение возможности накопления разряда статического электричества, перечислены на рис. 7.16.

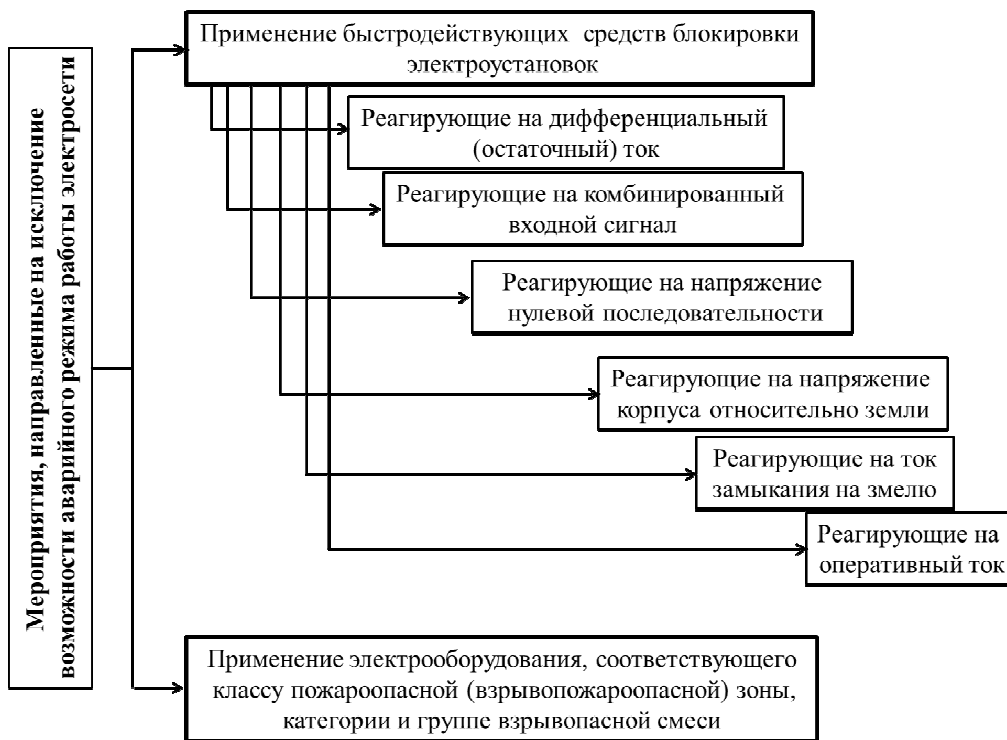


Рис. 7.15. Мероприятия, направленные на исключение возможности аварийного режима работы электросети

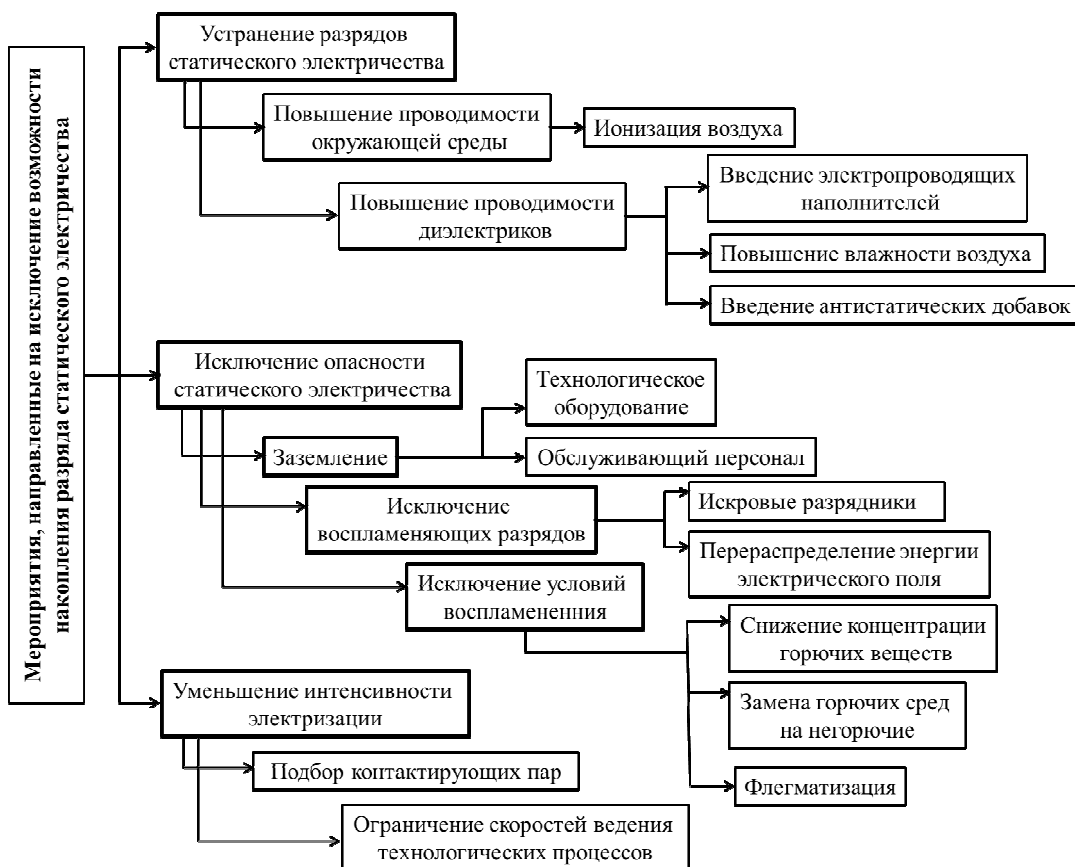


Рис. 7.16. Мероприятия, направленные на исключение возможности накопления разряда статического электричества

В результате воздействия на производственный объект атмосферного электричества происходит образование значительных электрических потенциалов на технологическом оборудовании и строительных конструкциях. При этом тепловыделение происходит в результате индукционного и диэлектрического нагрева металлических частичек, которые содержатся в веществах и материалах.

Защита от проявлений атмосферного электричества заключается в использовании устройств молниезащиты, которые представлены на рис. 7.17.

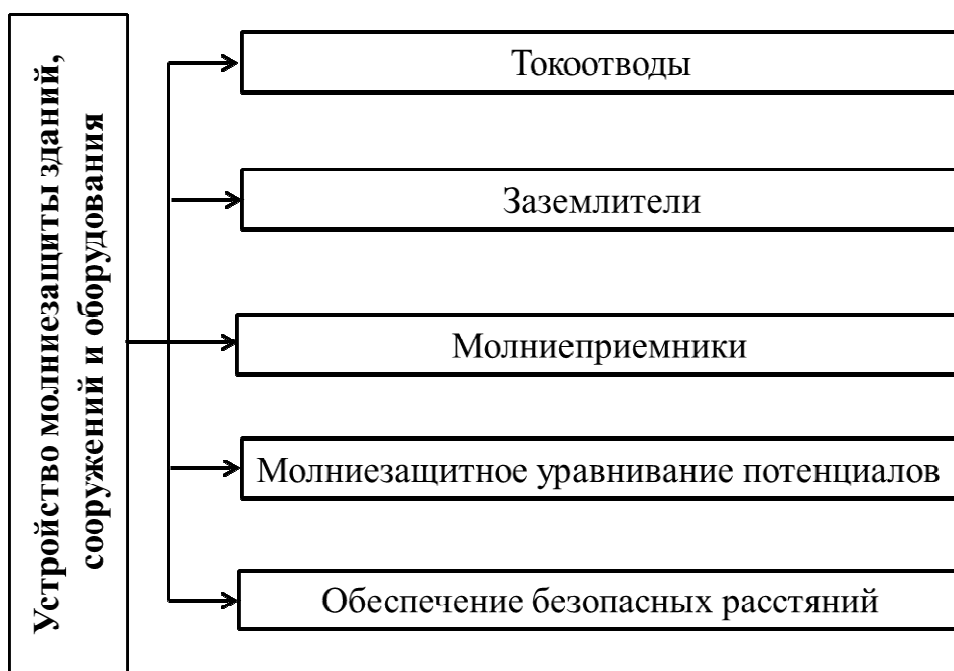


Рис. 7.17. Перечень устройств молниезащиты зданий, сооружений и оборудования

В процессе протекания экзотермических реакций и процессов самовозгорания, в результате выделения тепла может происходить:

- самовоспламенение веществ и материалов на воздухе ( $T_{\text{сmb}} \leq T_{\text{раб}}$ );
- самовозгорание веществ и материалов на воздухе ( $T_{\text{сmb}} > T_{\text{раб}}$ ).

Самовоспламенение происходит в результате нагревания веществ и материалов до температуры самовоспламенения. Самовозгорание представляет собой процесс самонагревания вещества до температуры самовоспламенения. При этом разделяют самовозгорание микробиологическое, тепловое и химическое.

Мероприятия, направленные на исключение возможности самовоспламенения веществ:

- герметизация технологических процессов;
- исключение возможности повреждения герметичного технологического оборудования.

Мероприятия, направленные на исключение возможности самовозгорания веществ и материалов, основаны на следующих положениях:

- процесс самовозгорания характеризуется скоростью самонагревания (рис. 7.18);

- длительность процесса самовозгорания характеризуется условиями аккумуляции тепла (рис. 7.19).

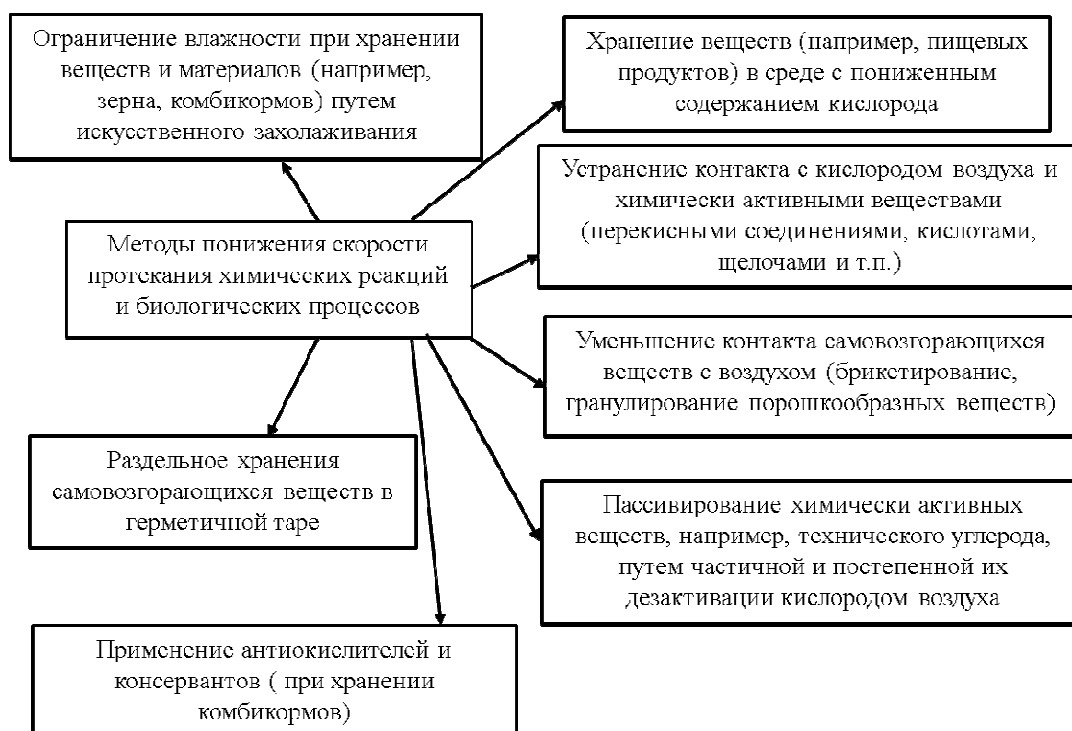


Рис. 7.18. Перечень методов понижения скорости протекания химических реакций и биологических процессов



Рис. 7.19. Устранение условий аккумуляции тепла



## Контрольные вопросы

1. Как классифицируются источники зажигания?
2. Перечислите условия возникновения горения.
3. Перечислите тепловые проявления электрической энергии.
4. Перечислите тепловые проявления механической энергии.
5. Перечислите тепловые проявления химической реакции.
6. Какие мероприятия направлены на предупреждения опасного проявления аппаратов огневого действия?
7. Какие мероприятия направлены на исключение искрообразования в топках и двигателях?
8. Классификация искроуловителей и искрогасителей?
9. Перечислите методы обеспечения безопасности эксплуатации транспортных и приводных лент.
10. Перечислите причины тепловыделения при сжатии газов и мероприятия, направленные на их устранение.
11. Какие пожароопасные причины работы электрических сетей вы знаете?
12. Перечислите мероприятия, направленные на исключение возможности аварийного режима работы электросети.
13. Перечислите мероприятия, направленные на исключение возможности накопления разряда статического электричества.
14. Перечислите основные элементы молниезащиты зданий и сооружений.
15. Перечислите методы понижения скорости протекания химических реакций и биологических процессов.

## 8. Ограничение распространения пожара на производстве

Ограничение распространения пожаров на производстве осуществляется с целью снижения негативных последствий пожаров и взрывов. Защита людей и имущества осуществляется следующими способами:

- устройство эвакуационных путей, удовлетворяющих требованиям безопасной эвакуации людей при пожаре;
- применение объемно-планировочных решений и средств, обеспечивающих ограничение распространения пожара за пределы очага;
- применение систем коллективной защиты (в том числе противодымной) и средств индивидуальной защиты людей от воздействия опасных факторов пожара;
- устройство систем обнаружения пожара (установок и систем пожарной сигнализации), оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре;
- применение огнезащитных составов (в том числе антипиренов и огнезащитных красок) и строительных материалов (облицовок) для повышения пределов огнестойкости строительных конструкций;

- применение основных строительных конструкций с пределами огнестойкости и классами пожарной опасности, соответствующими требуемым, а также с ограничением пожарной опасности поверхностных слоев (отделок, облицовок и средств огнезащиты) строительных конструкций на путях эвакуации;
- устройство на технологическом оборудовании систем противовзрывной защиты;
- организация деятельности подразделений пожарной охраны - устройство аварийного слива пожароопасных жидкостей и аварийного стравливания горючих газов из аппаратуры;
- применение автоматических установок пожаротушения;
- применение первичных средств пожаротушения.

Разработка и внедрение противопожарных мероприятий и мероприятий, ограничивающих распространение пожара, осуществляется как на этапе проектирования, так и в ходе эксплуатации производственного объекта.

Одним из наиболее перспективных направлений разработки мероприятий для производственных объектов является снижение количества горючих веществ и материалов, которые хранятся или обращаются в технологических процессах производства.

### **8.1. Мероприятия и технические решения, направленные на снижение количества горючих веществ и материалов, применяемых в производстве**

С целью ограничения распространения горения в рамках производственных объектов разрабатываются и внедряются мероприятия, направленные на снижение количества горючих веществ в процессе производства, которые перечислены на рис. 8.1.

Существуют три основных направления разработки решений по снижению количества горючих веществ в технологии производства на стадии проектирования, которые представлены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Основные направления разработки решений по снижению количества горючих веществ в технологии производства на стадии проектирования

<b>Направления</b>	<b>Решения</b>
Выбор метода производства	Один и тот же конечный продукт можно получить различными методами, пожарная опасность которых отличается. 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	Предпочтение аппаратов непрерывного действия; вспомогательных емкостей с горючим материалом; установка автоматических приборов контроля; сокращения перечня огнеопасных жидкостей и т.д.

Направления	Решения
Выбор варианта размещения технологического оборудования	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Размещение технологического оборудования на открытых площадках (этажерках);</li> <li>- использование оптимальных схем трубопроводной обвязки отдельных аппаратов, установок и предприятия в целом, промежуточных емкостей, встречных потоков и т. п.;</li> <li>- ограничение производственных площадей в зданиях и на открытых площадках в зависимости от категории помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности;</li> <li>- изоляция технологического оборудования в отдельных отсеках, помещениях, кабинах и т. п.</li> </ul>

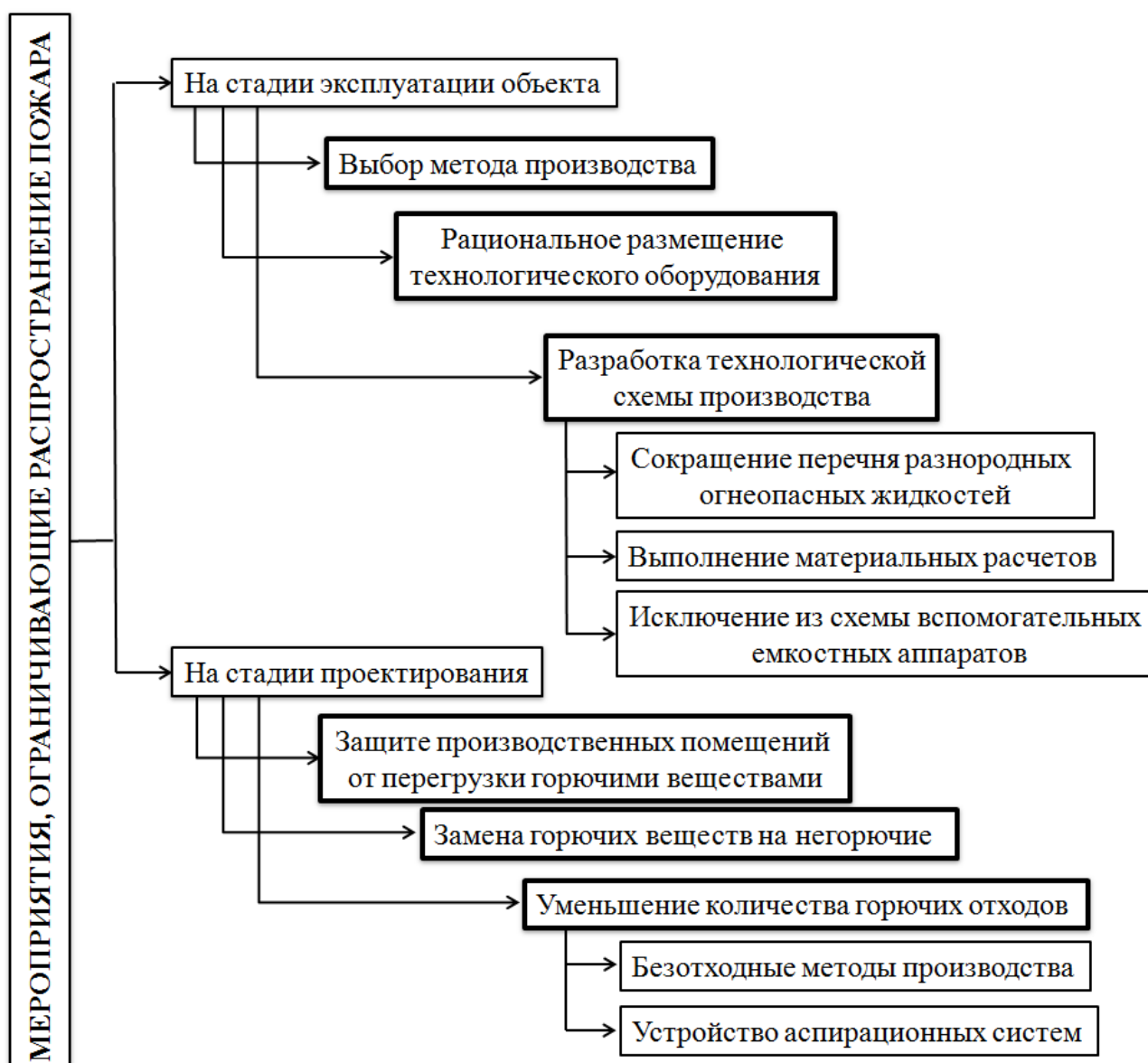


Рис. 8.1. Перечень мероприятий, ограничивающих распространение пожара путем снижения количества горючих веществ

Для снижения количества горючих веществ в период нормальной эксплуатации производства, применяют следующие решения пожарной безопасности режимного характера, которые представлены в табл. 8.2.

Таблица 8.2

**Перечень необходимых решений для снижения количества горючих веществ в период нормальной эксплуатации производств**

Направления	Решения
Защита производственных помещений от перегрузки горючими веществами	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	Достигается выбором метода переработки (обработки) веществ. 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
Замена горючих веществ на негорючие или менее горючие	<ul style="list-style-type: none"> <li>- замена легковоспламеняющихся поглотителей, катализаторов, теплоносителей, хладагентов на негорючие или менее пожароопасные вещества;</li> <li>- использование для мойки и обезжиривания промышленных изделий вместо органических растворителей пожаробезопасных технических моющих средств (ТМС);</li> <li>- применение преимущественно водорастворимых лакокрасочных покрытий и пропиточных материалов вместо подобных материалов на основе органических растворителей;</li> <li>- введение в состав горючих материалов специальных добавок, переводящих их в группу трудногорючих или негорючих материалов</li> </ul>

**8.2. Расчёт систем аварийного слива горючих жидкостей самотёком и под избыточным давлением**

При возникновении аварийной ситуации с целью ограничения распространения пожара от одного аппарата с горючими жидкостями к другому необходимо обеспечить эвакуацию горючих или легковоспламеняющихся жидкостей в безопасную зону, где ее воспламенение исключено. Для этого проектируются и создаются специальные системы для аварийного слива опасных жидкостей. Классификация систем аварийного слива представлена на рис. 8.2.

Система аварийного слива состоит из аварийной емкости, трубопровода, по которому происходит эвакуация жидкости в аварийную емкость, а также устройств блокировки и регулирования.

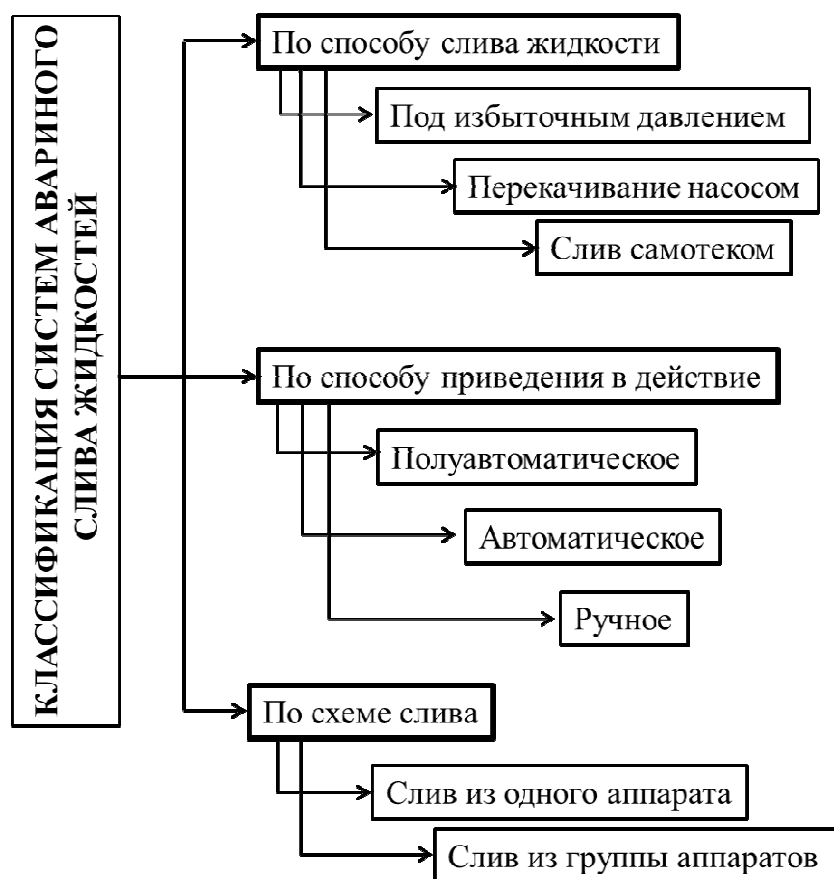


Рис. 8.2. Классификация систем аварийного слива

Аварийная емкость может быть специальной или для этих целей может использоваться емкость промежуточного или сырьевого склада, а также технологические аппараты. Конструктивно аварийные емкости представляют собой емкостный аппарат с «дыхательными» устройствами, которые должны быть оснащены огнепреградителями. Объем аварийной емкости должен обеспечивать вместимость, которая соответствует полному опорожнению одного аппарата цеха, который имеет наибольший объем.

Так как в процессе слива жидкости в аварийную емкость может произойти резкое повышение давления в ней, необходимо обеспечить удаление накапливающегося водяного конденсата путем установки аварийной емкости под уклоном в сторону сливного патрубка.

Для предупреждения взрыва паровоздушной среды в аварийной емкости при ее наполнении необходимо предусмотреть продувку емкости инертными газами или водяным паром.

Размещают аварийные емкости подземным или надземным способом за пределами здания. При этом в случае подземного расположения емкости должны соблюдаться предельные расстояния: не менее 1 м от глухой стены производственного здания; не менее 4-5 м от стены, которая имеет проемы.

Трубопроводы, используемые для аварийного слива жидкости, должны быть оснащены следующими устройствами защиты:

- гидравлическими затворами;
- аварийными задвижками на каждом опорожняемом аппарате.

Если предусматривается ручной пуск аварийных задвижек, то устанавливать их следует вне здания или на 1-ом этаже у выхода из здания. Если пуск задвижек предусмотрен в полуавтоматическом режиме, то их следует устанавливать непосредственно у опорожняемого аппарата, а устройства, обеспечивающие пуск (пусковые кнопки), – вне здания либо на 1-ом этаже у выхода из здания. При автоматическом пуске, контролирующие устройства (датчики) следует устанавливать в зоне, где с наибольшей вероятностью возникнет горение.

Трубопроводы следует монтировать под уклоном в сторону аварийной емкости. При этом необходимо обеспечить минимальное количество поворотов трубопровода.

При проектировании системы аварийного слива необходимо расчетным путем определить допустимую продолжительность аварийного слива, но не более 30 мин. Зависит данная величина от огнестойкости несущих ограждающих конструкций и конструкций технологического оборудования. Допустимая продолжительность аварийного слива определяется как сумма продолжительности опорожнения аппарата и времени, которое будет затрачено на выполнение операций, направленных на приведение системы в действие. При этом в случае, если не исключена возможность деформации незащищенных металлических несущих конструкций или конструкций аппаратов и трубопроводов, допустимую продолжительность слива принимают не более 15 мин.

На рис. 8.3 представлено условие безопасности слива жидкости, которое характеризуется следующими величинами:

$\tau_{ав.сл.}$  – продолжительность аварийного слива, с;

$\tau_{опор.}$  – продолжительность опорожнения аппарата, с;

$\tau_{оп.}$  – продолжительность операций по приведению системы слива в действие (при ручном пуске не более 300 с, при автоматическом не более 120 с);

$\tau_{ав.реж.}$  – допустимая продолжительность аварийного режима, с.

При этом значение продолжительности опорожнения аппарата определяется по формуле на рисунке 8.3 в зависимости от следующих величин:

$F$  – площадь поперечного сечения аппарата, м<sup>2</sup>;

$f$  – сечение аварийного трубопровода на выходе, м<sup>2</sup>;

$\alpha$  – коэффициент расхода системы (учитывает все виды потерь при движении жидкости по трубам);

$H$  – уровень жидкости, м.

В случае, если условие не выполняется, следует использовать средства, обеспечивающие побуждение потока жидкости с целью снижения продолжительности аварийного слива путем создания избыточного давления в опорожняемом аппарате инертной средой. В таком случае значение допустимой продолжительности опорожнения будет определяться в соответствии с избыточным давлением над зеркалом жидкости  $P_u$ .

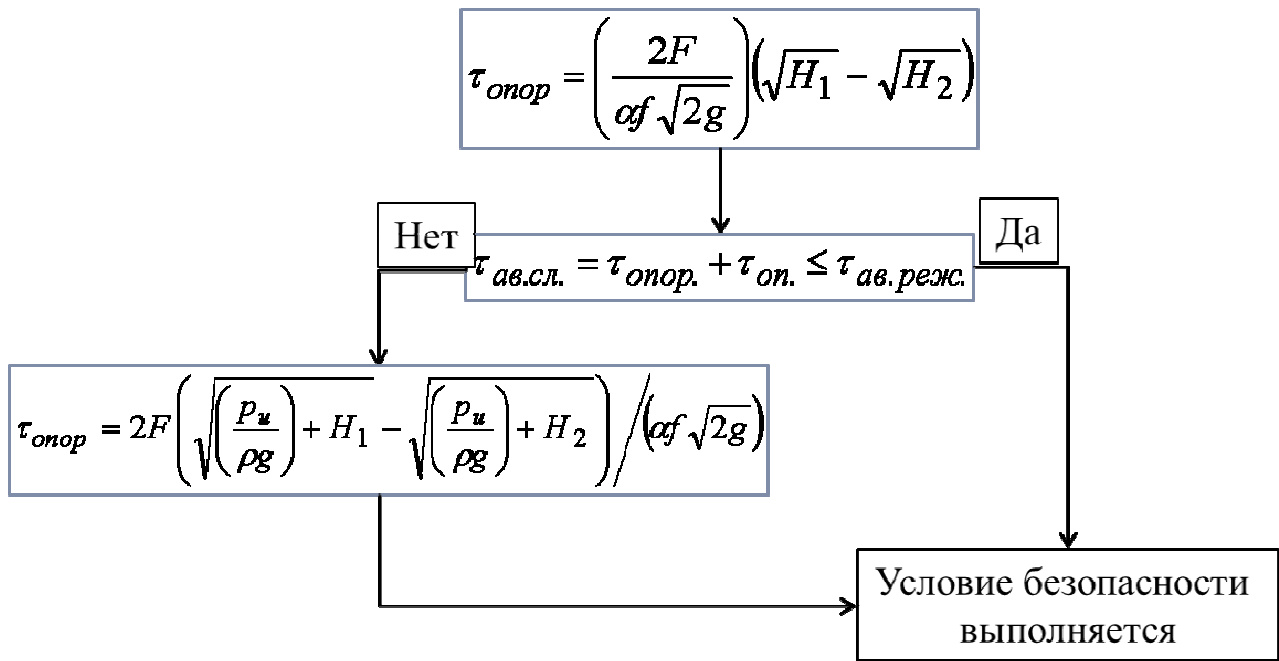


Рис. 8.3. Условие безопасности слива жидкости [3]

### 8.3. Расчёт систем аварийного стравливания горючих газов и паров

В ходе технологического процесса в емкостных аппаратах в результате динамики температуры или наполнения (опорожнения) образуется избыточное давление газов или паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей. Для исключения возможности повреждения стенок аппарата предусматривают системы аварийного стравливания газов и паров, которые обеспечивают снижение избыточного давления. Стравливание происходит посредством открытия аварийной задвижки. Аварийные задвижки могут быть с ручным или автоматическим приводом.

При этом вещества перемещаются не в емкость, а выбрасываются в атмосферу. Стравливание необходимо предусматривать для каждого аппарата отдельно. В результате вокруг сбросной свечи образуется газопаровоздушная смесь, которая может взрываться и гореть. Поэтому необходимо определять расчетным способом безопасную высоту сбросной свечи, на выпускных линиях предусматривать условия факельного выброса, а также при необходимости сброса веществ из аппарата, обладающего значительным объемом емкости, предусматривать сжигание газов и паров в факельных системах.

Основные параметры процесса стравливания горючих газов и паров в технологических процессах производств осуществляется по формулам, представленным на рис. 8.4.

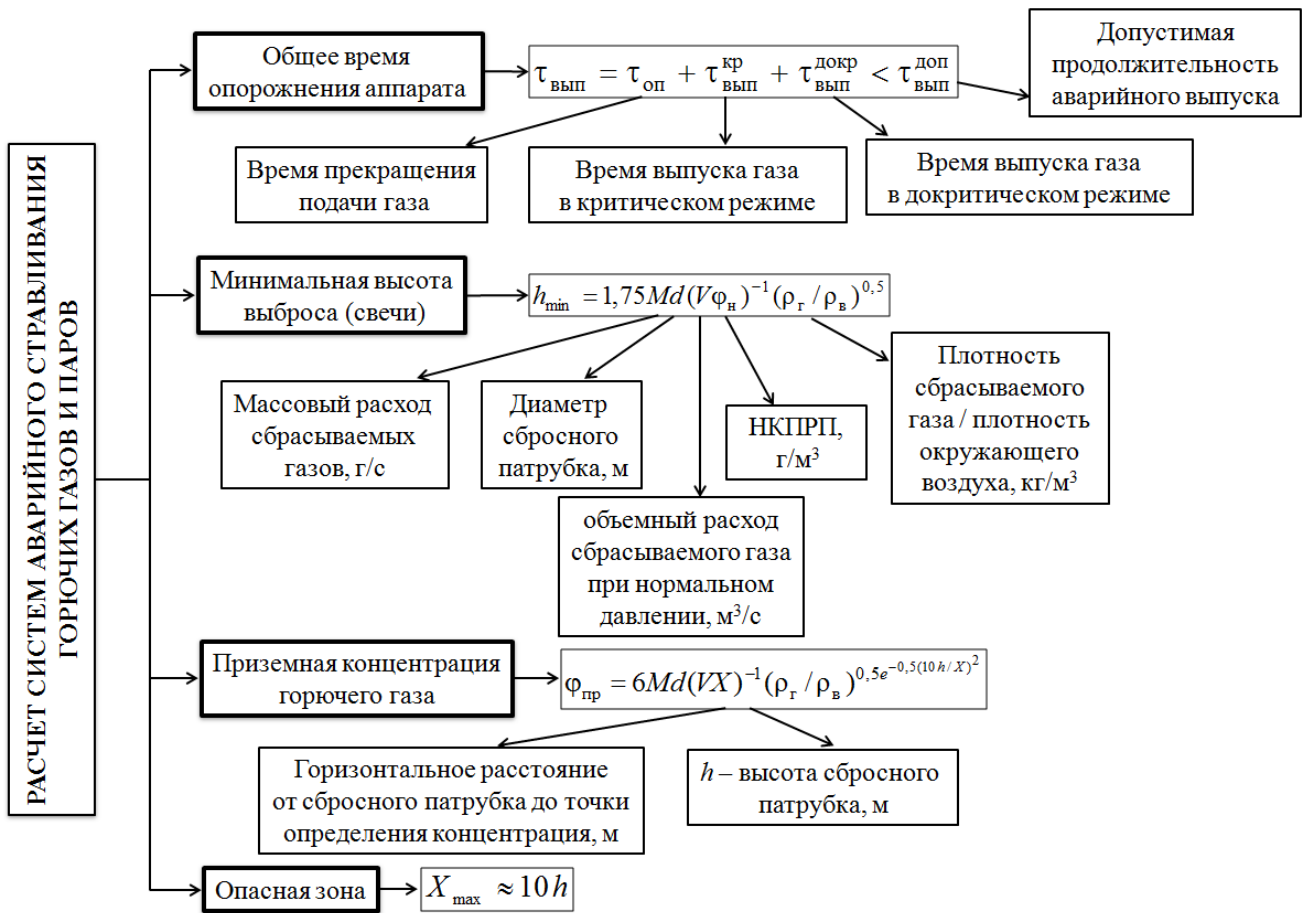


Рис. 8.4. Расчет систем стравливания газов и паров

При этом опасная зона характеризуется расстоянием, на котором наблюдается максимальная приземная концентрация горючего газа. НКПРП – значение нижнего концентрационного предела распространения пламени.

Для предотвращения распространения огня по производственным коммуникациям применяют различного типа огнепреградители, представленные на рис. 8.5.

Сухие огнепреградители представляют собой устройства, которые свободно пропускают через пламегасящий элемент поток газа или пара в смеси с воздухом и способствуют локализации горения. Устанавливаются огнепреградители на пожароопасных технологических аппаратах и трубопроводах.

Принцип действия огнепреградителей сухого типа основывается на разделении пламени на множество потоков, что приводит к его гашению.



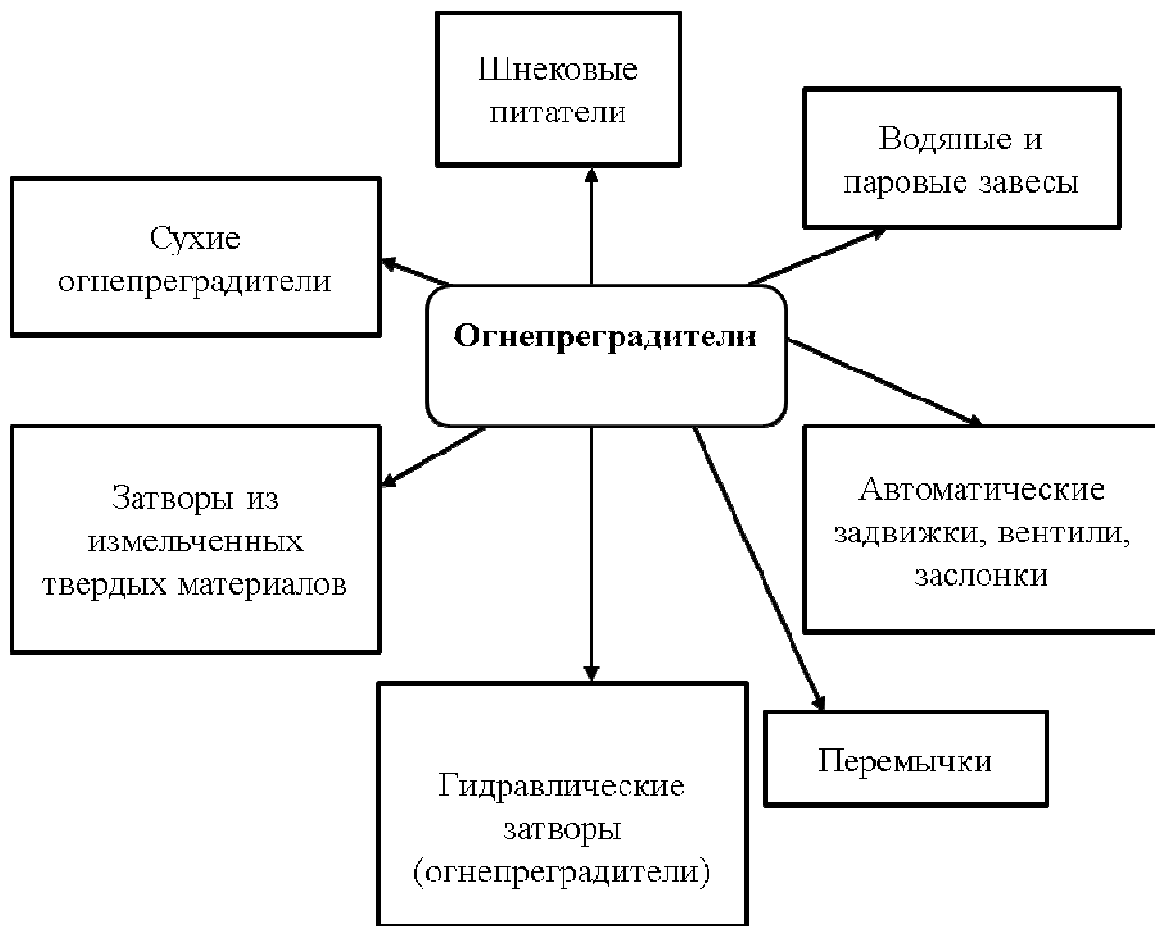


Рис. 8.5. Типы огнепреградителей [7]

Классификация огнепреградителей представлена на рис. 8.6.



Рис. 8.6. Классификация огнепреградителей [7]

По типу пламегасящего элемента огнепреградительные устройства разделяются на три группы (рис. 8.7).

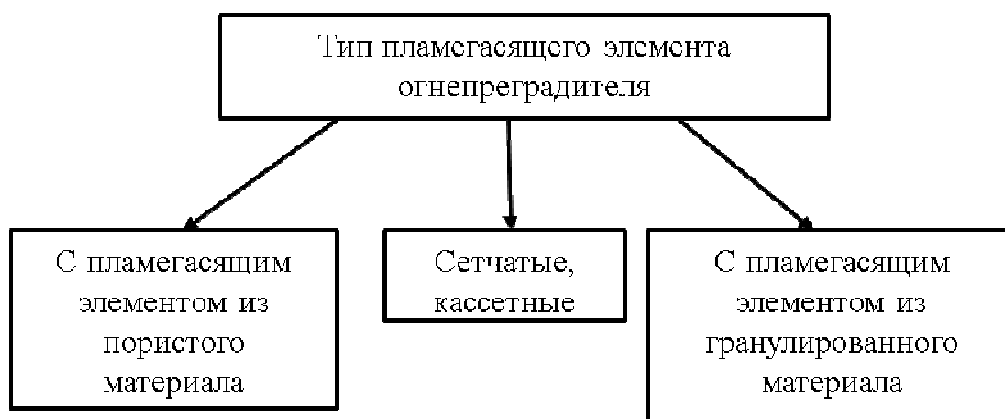


Рис. 8.7. Тип пламегасящего элемента огнепреградителя [7]

Насадки из пористых материалов, обеспечивающие гашение пламени, представляют собой диски или трубки, которые производятся путем спекания гранул металлического порошка или проволоки.

Сетчатые пламегасящие элементы представляют собой металлические фильтровальные сетки, которые разделяют пламя на несколько потоков. Для повышения эффективности огнепреградителя следует использовать несколько последовательно установленных пламегасящих элементов на расстоянии примерно 10 мм друг от друга.

Для защиты «дыхательной» арматуры аппаратов с легковоспламеняющимися жидкостями применяются кассетные огнепреградители. Кассета представляет собой свитые гладкую и гофрированную ленты, в результате чего образуются каналы треугольной формы.

Каналы криволинейной формы образуются при использовании насадок из гранулированных тел (шариков, колец, гравия и т. д.) или волокон (стекловата, асбест и т. д.).

По месту установки огнепреградительного устройства разделяются на 2 группы (рис. 8.8).



Рис. 8.8. Классификация по месту установки огнепреградителей [7]

В зависимости от способности в течение определенного времени сохранять свои функциональные свойства в условиях пожара огнепреградительные устройства делятся на 2 группы (рис. 8.9).



Рис. 8.9. Классы огнепреградителей по времени сохранения работоспособности при воздействии пламени [7]

Принцип действия гидрозатворов заключается в разделении потока газа на серию газовых пузырьков посредством разбавления негорючей жидкостью. Жидкостные огнепреградители применяются для защиты технологического оборудования, предназначенного для производства ацетилена и других взрывоопасных газов.

Для защиты линий высокого давления используют жидкостные огнепреградители с небольшим слоем жидкости, но снабженные обратным и мембранными предохранительными клапанами.

С целью исключения замерзания жидкости в гидрозатворах в зимний период времени их следует размещать в отапливаемых помещениях или использовать растворы этиленгликоля или глицерина в воде.

Коммуникации, предназначенные для транспорта измельченных твердых материалов, защищают затворами из измельченных негорючих твердых материалов. Такие затворы исключают возможность распространения пламени по поверхности материалов.

Также сыпучие материалы применяются для создания пробки, которая ограничивает распространение пожара по технологическому оборудованию

Для защиты самотечной линии бункера циклона в конце транспортной системы устанавливаются шнековые питатели аппаратов.

Для ограничения распространения пожара по горючим отложениям для защиты трубопроводов применяют огнезадерживающие заслонки. Преимущество заслонок заключается в следующем:

- ограничивается поступление кислорода воздуха в зону горения;
- обеспечивается остановка движения транспортного потока;
- происходит флегматизация горючей смеси продуктами сгорания.

При использовании огнепреградителей важной характеристикой является их быстрое действие.

Универсальной характеристикой соотношения динамики процессов тепловыделения и теплотеря является критерий Пекле. Относительно условий эксплуатации огнепреградителей данный критерий имеет вид, представленный на рис. 8.10.

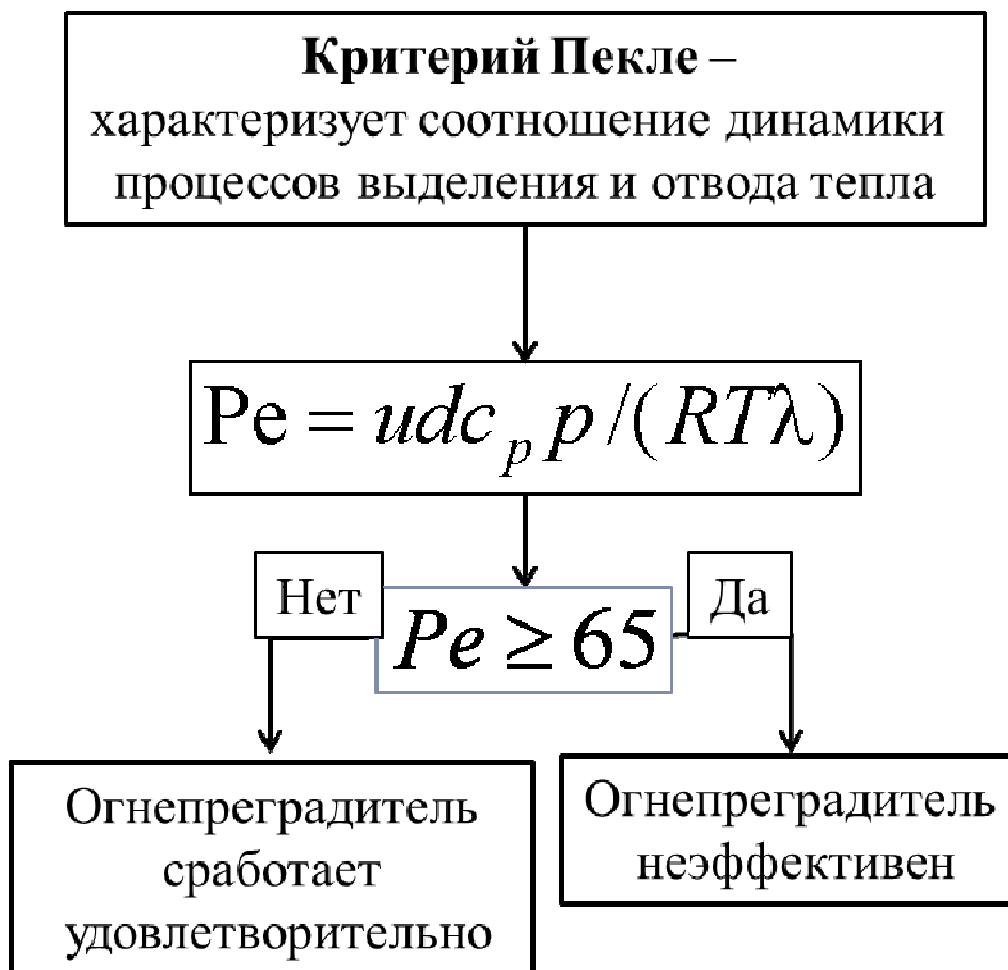


Рис. 8.10. Условия применимости огнепреградительных устройств [7], где  $u$  – нормальная скорость распространения пламени;  $d$  – диаметр канала огнепреграждающего элемента;  $c_p$  – удельная теплоемкость при постоянном давлении;  $p$  – давление;  $r$  – удельная газовая постоянная;  $T$  – начальная температура;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности горючей смеси

Так как критерий Пекле носит условный характер, принято учитывать коэффициент, равный 2. Из этого следует, что безопасное значение критерия составляет 32,5.

Безопасный диаметр пламегасящего элемента, выбранный с учетом коэффициента безопасности, определяется по формуле, представленной на рис. 8.11

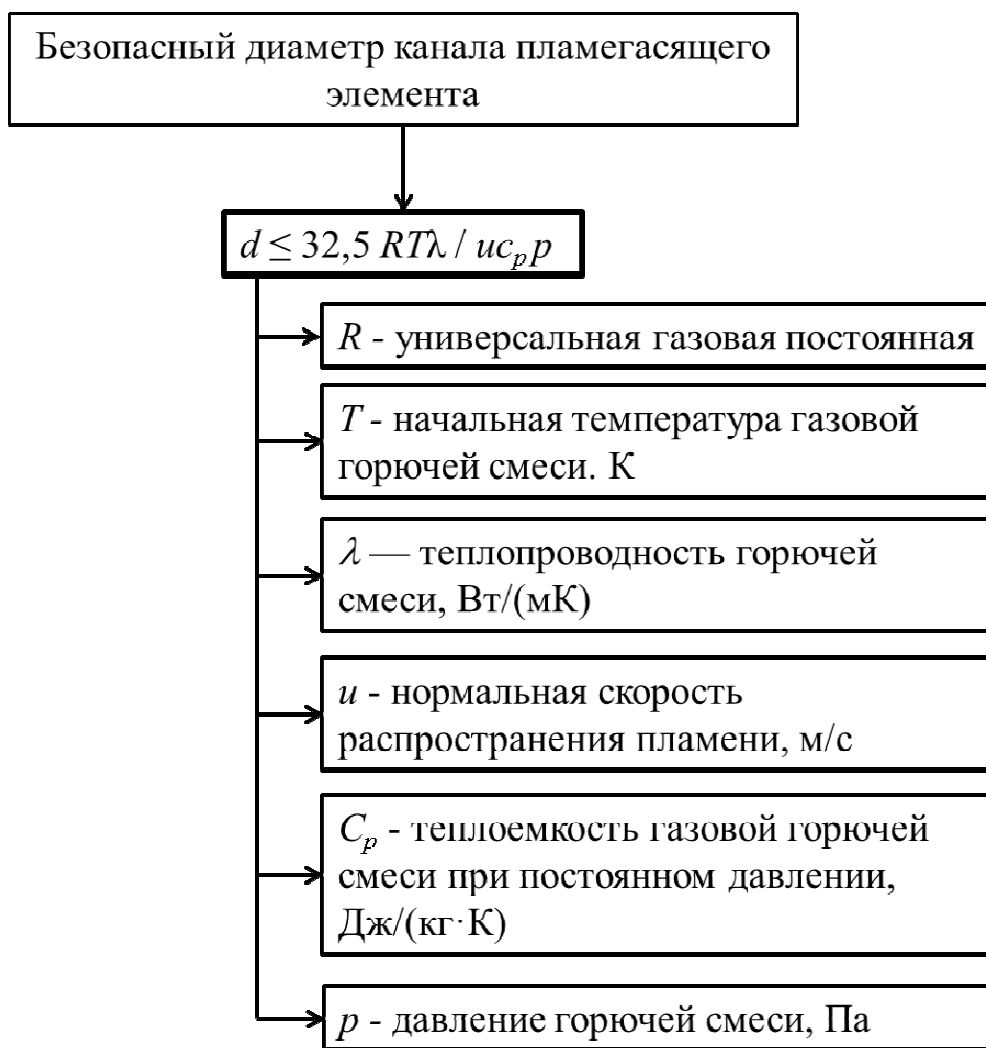


Рис. 8.11. Определение безопасного диаметра канала пламегасящего элемента

В случае, если насадка состоит из одинаковых шариков, то диаметр канала можно принимать в соответствии с диаметром шариков.

При применении огнепреградителей с насадками из гранулированного материала или колец Рашига рекомендуется:

- чтобы поперечный размер корпуса огнепреградителя превышал размер 1 гранулы более чем в 20 раз;
- высота слоя насадки превышала диаметр канала более чем в 100 раз.

Существует множество причин разрушения или разгерметизации систем повышенного давления, таких как старение систем, нарушение технологического режима, конструкторские ошибки, изменение состояния среды, неисправности в устройствах, ошибки обслуживающего персонала и другие.

Защита оборудования от взрывов достигается комплексом предупредительных мер, включающих разработку норм осуществления технологических процессов, обучение и инструктаж обслуживающего персонала, контроль вы-

полнения правил техники безопасности. Для обеспечения безопасности систем повышенного давления пользуются следующими средствами, которые представлены на рис. 8.12.

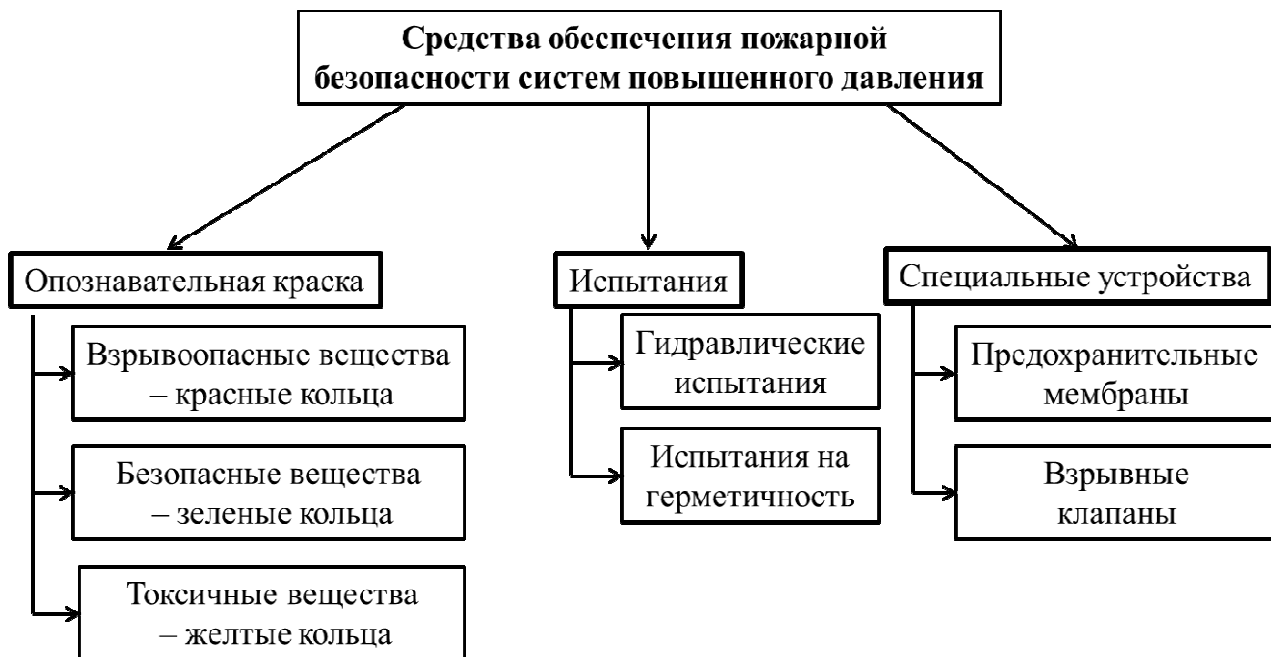


Рис. 8.12. Средства обеспечения пожарной безопасности систем повышенного давления

Предохранительные мембраны классифицируются по характеру разрушения (рис. 8.13).

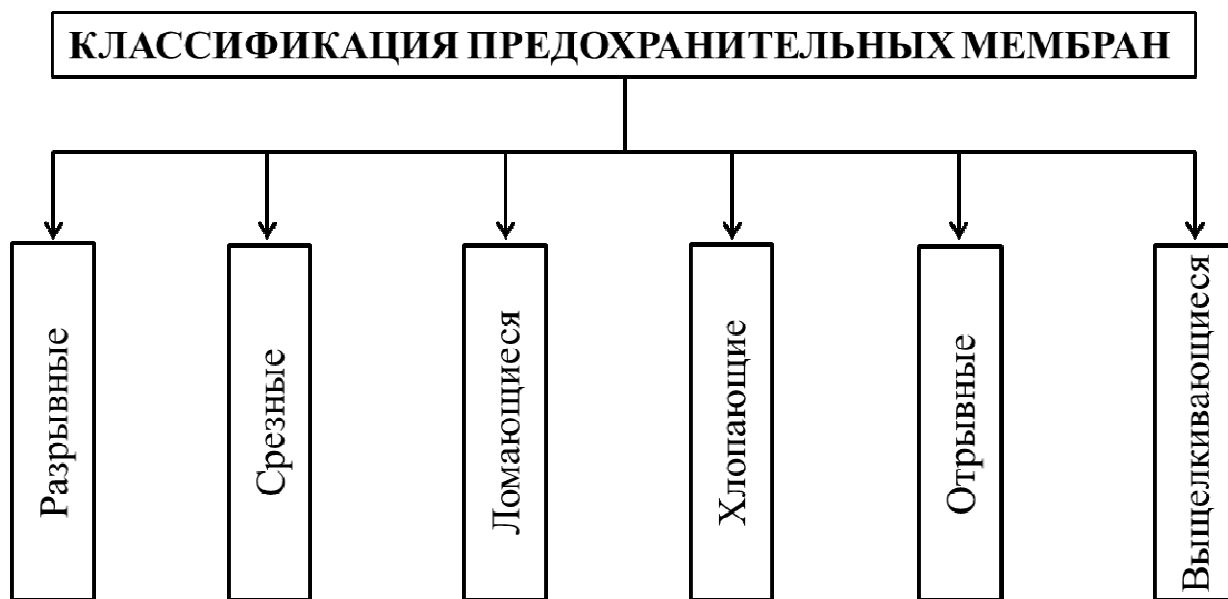


Рис. 8.13. Классификация предохранительных мембран

## **Контрольные вопросы**

1. Какими способами осуществляется защита людей и имущества от воздействий опасных факторов пожара на производстве?
2. Какие мероприятия обеспечивают ограничение распространения пожара, путем снижения количества горючих веществ?
3. Как классифицируются системы аварийного слива?
4. При каких условиях аварийный слив удовлетворяет требованиям безопасности?
5. В каких случаях применяется система аварийного стравливания?
6. Какие типы огнепреградителей вы знаете?
7. Как классифицируются огнепреградители?
8. Какие типы пламегасящего элемента огнепреградителей вы знаете?
9. Принцип действия гидрозатворов.
10. Что является средствами обеспечения пожарной безопасности систем повышенного давления?
11. Какие предохранительные мембраны вы знаете?

## **Заключение**

В учебном пособии рассматриваются основные вопросы обеспечения пожарной безопасности технологий производств, эксплуатации технологического оборудования, методики оценки параметров технологических процессов, предложены методы и средства защиты.

Последовательное изучение студентами всех разделов учебного пособия поможет создать необходимую основу для получения теоретических знаний и навыков в рамках курса «Пожарная безопасность технологических процессов».

В результате освоения дисциплины «Пожарная безопасность технологических процессов» студент приобретет навыки определения взрывопожароопасности производств, узнает методы оценки взрывопожароопасности технологического оборудования, сумеет разрабатывать методы снижения уровня взрывопожароопасности объекта.

Все полученные знания помогут студенту в его будущей профессиональной деятельности.

## **Библиографический список**

1. Федеральный закон от 22.07.2008г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»: официальное издание.- М.: Проспект. 2013.- 112с.

2. Пожарная безопасность технологических процессов: учеб.пособие / Е.В. Романюк, Д.В. Каргашилов; Воронежский институт ГПС МЧС России; ВНИИПО МЧС России. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2014. – 185 с.
3. Пожарная безопасность технологических процессов : учебник / С. А. Швырков [и др.] ; под общ. ред. С. А. Швыркова. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2012. – 388 с.
4. Федеральный закон от 21.07.1997 N 116-ФЗ (ред. от 11.06.2021) "О промышленной безопасности опасных производственных объектов"// СПС «КонсультантПлюс».
5. Постановление Правительства РФ от 21 мая 2007 г. N 304 "О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера"// СПС «КонсультантПлюс».
6. ГОСТ Р 12.3.047-2012. «Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля»// СПС «КонсультантПлюс».
7. ГОСТ Р 53323-2009. Огнестойкие преградители и искрогасители. Общие технические требования. Методы испытаний. СПС «КонсультантПлюс»



**Учебное издание**

**Каргашилов Дмитрий Валентинович**  
**Паршина Анастасия Петровна**  
**Иванова Ирина Александровна**

**ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Учебное пособие

Редактор Аграновская Н. Н.

Подписано в печать 05. 10. 2021. Формат 60x84 1/16.  
Бумага для множительных аппаратов. Уч.-изд. л. 5,0.  
Усл. печ. л. 4,65. Тираж 350 экз. Заказ №166.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»  
394026 Воронеж, Московский проспект,14  
Участок оперативной полиграфии издательства ВГТУ  
394026 Воронеж, Московский проспект,14