

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

**Г. В. Пачурин, В. И. Миндрин**

**БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ И  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Под общей редакцией Г. В. Пачурина

*Рекомендовано Ученым советом  
Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева  
в качестве учебно-методического пособия для студентов  
технических специальностей заочной и дистанционной форм обучения*

Нижний Новгород – Старый Оскол

2015

УДК 658.382.3: 621.31

ББК 31

Безопасность эксплуатации промышленного оборудования и технологических процессов: Учебное пособие / Г. В. Пачурин, В. И. Миндрин; под общ. ред. Г. В. Пачурина. - Нижний Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева: Старый Оскол: ТНТ. 2015. - 136с.

Учебное пособие написано в классическом стиле в соответствии с Государственным стандартом Минобразования РФ по направлению «Техносферная безопасность» и с учетом государственных стандартов для технических специальностей

Рассмотрены общие и специальные вопросы безопасности технологических процессов и безопасной эксплуатации разных видов технологического оборудования.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности «Безопасность технологических процессов и производств», а также для студентов вузов и техникумов химикотехнологических, машиностроительных, электро и теплоэнергетических специальностей очной и заочной форм обучения при выполнении ими самостоятельных работ курсовых и дипломных проектов.

Сведения могут быть использованы преподавателями, инженерами и специалистами при эксплуатации промышленных установок и безопасной организации работ на производстве, а также широким кругом читателей, интересующихся проблемами безопасности жизнедеятельности человека.

**ISBN**

©Нижегородский государственный  
технический университет, 2015

© Пачурин Г.В., Миндрин В.И.

© Оформление, ООО «ТНТ», 2015

## Оглавление

<b>Введение.....</b>	<b>5</b>
<b>1. Общие вопросы.....</b>	<b>6</b>
1.1 Классификация технологических процессов на НПЗ и НХЗ.....	6
1.2. Обеспечение безопасности технологических процессов и производств....	7
1.3. Сведения о травматизме на предприятиях в современных условиях.....	9
<b>2. Электробезопасность.....</b>	<b>11</b>
2.1. Действие электрического тока на человека. Параметры тока, влияющие на исход поражения.....	11
2.2. Растекание тока в земле. Напряжение шага и напряжение прикосновения. Меры защиты.....	14
2.3. Опасность поражения человека в разных электрических сетях.....	17
2.4. Меры защиты человека от поражения электрическим током.....	21
2.5. Выбор и защита электрооборудования во взрывоопасных зонах.....	32
<b>3. Грузоподъемные краны.....</b>	<b>35</b>
3.1. Классификация кранов. Основные элементы конструкции, их отбраковка. Требования безопасности.....	35
3.2. Механизм подъема груза. Электрическая схема управления.....	40
3.3. Тормоза грузоподъемных кранов. Электрозащитные устройства. Надзор и обслуживание.....	42
3.4. Защитное заземление мостового крана. Регистрация. Техническое освидетельствование.....	45
<b>4. Энергия в химической промышленности.....</b>	<b>48</b>
4.1. Использование энергии в химической технологии.....	48
4.2. Тепловая схема энергоблока. Парогенератор. Теплообмен в элементах парогенератора. Требования безопасности.....	49
4.3. Паровые и газовые турбины в технологии сжатия газов.....	54
4.4. Компрессоры в химической промышленности. Характеристики центробежных машин. Сжатие газа в поршневом компрессоре.....	56
<b>5. Безопасность эксплуатации объектов энергоблока.....</b>	<b>66</b>
5.1. Опасные и вредные производственные факторы при эксплуатации оборудования энергоблока.....	66
5.2. Травмоопасные объекты энергоблока. Причины аварийных режимов и отказов в работе.....	66
5.3. Технические требования безопасности к основным объектам энергоблока.....	67
<b>6. Надежность работы оборудования.....</b>	<b>73</b>
6.1. Вибрация машин в различных режимах работы. Виды технической вибрации. Средства снижения вибрации.....	73
6.2. Герметизация производственного оборудования.....	76
<b>7. Сосуды, работающие под давлением.....</b>	<b>81</b>
7.1 Общие технические требования.....	82
7.2. Требования к конструкции сосудов.....	84
7.3. Дополнительные требования к цистернам и бочкам для перевозки сжиженных газов.....	93

7.4. Эксплуатация баллонов.....	94
<b>8. Пожаровзрывобезопасность.....</b>	<b>99</b>
8.1. Общие сведения о процессе горения.....	100
8.2. Причины пожаров и их воздействие на людей.....	101
8.3. Воздействие взрывов на людей, здания и сооружения.....	103
8.4. Показатели пожаровзрывоопасности веществ и материалов.....	104
8.5. Категорирование и классификация технологических процессов, зданий и помещений.....	107
8.6. Классификация взрывопожароопасных зон при наличии электрооборудования.....	111
8.7. Системы предотвращения и защиты от пожаров.....	115
8.8. Способы тушения пожаров.....	123
<b>Библиографический список.....</b>	<b>134</b>

## **Введение**

Производственная безопасность охватывает и изучает широкий спектр безопасности в тех направлениях, реализация которых обеспечивает безопасность эксплуатации цехового оборудования на промышленных предприятиях.

Безопасность на производстве обеспечивается тремя основными направлениями:

- безопасностью конструкций промышленного оборудования и надежностью его работы;
- безопасностью всех технологических процессов на производстве от поступления сырья и материалов до выдачи готовой продукции;
- безопасностью самого процесса труда при изготовлении, монтаже, ремонте и эксплуатации отдельной техники и оборудования в целом.

Разрабатывая и эксплуатируя технику, необходимо не только обеспечить надежное и технологичное функционирование производственного оборудования, но и создать условия для безопасного и безвредного обслуживания всех установок и систем персоналом на предприятии.

На этапе проектирования и подготовки производства важно выявить все негативные, в том числе и отрицательно действующие на экологию, факторы, установить их значимость; разработать и применить технические средства и организационные мероприятия для снижения отрицательных параметров до допустимых значений.

Указанные направления должны реализовываться на всех стадиях производственной деятельности.

## 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Целью данной монографии является формирование теоретических знаний необходимых для созидательной инженерной деятельности в производственных условиях в соответствии с требованиями безопасности.

Основная задача – приобретение специалистами практических навыков, необходимых при проектировании техники, ее изготовлении, монтаже и безопасной эксплуатации промышленных объектов и технологических систем.

В монографии представлены:

- организационные основы современного производства;
- источники опасных и вредных факторов конкретных производств и их интенсивность;
- негативные последствия производственной деятельности в условиях энергетического и токсичного воздействия отрицательных факторов на человека;
- методика расчета элементов технологического оборудования по критериям работоспособности, надежности и безопасности работы;
- нормативные значения допустимых негативных воздействий на человека;
- способы и средства обеспечения пожарной и взрывной безопасности технологических процессов и оборудования;

должен уметь:

- анализ и оценка опасных и вредных факторов производственного процесса и оборудования;
- анализ и разработка технических средств, систем защиты и организационные мероприятия, направленные на повышение безопасности производства;
- правовая и нормативно-техническая документация по вопросам безопасности труда.

### 1.1. Классификация технологических процессов на НПЗ и НХЗ

Согласно требованиям ГОСТа 12.3.002-75 ССБТ «Процессы производственные. Общие требования безопасности», все технологические процессы, происходящие в оборудовании нефтеперегонных и нефтехимических заводов (НПЗ, НХЗ), разделяются на следующие пять групп:

1-я группа. Гидромеханические процессы

Служат для перемешивания или разделения жидкостей и газов и их транспортировки. Осуществляются отстойниками для осаждения тяжелых твердых частиц или капель воды в газожидкостной фазе; фильтрами для отделения взвешенных мелких частиц пористыми перегородками; центрифугами для отделения эмульсий под действием центробежных сил; другими машинами и аппаратами. Транспортировка рабочих сред выполняется: насосами для повышения давления и перемещения жидкостей, компрессорами (центробежными, поршневыми, винтовыми) для сжатия и перемещения газов.

2-я группа. Массообменные процессы

Это перегонка, ректификация (разделение) газожидкостных сред, абсорбция (погашение), адсорбция (выделение) и другие подобные процессы.

Для массообменных процессов применяют главным образом колонные аппараты, например ректификационные колонны для получения дихлорэтана, пиролизные башни для разделения природного газа.

3-я группа. Тепловые процессы

Связаны с нагреванием, охлаждением, конденсацией или испарением рабочих тел по законам теплопередачи.

Тепловые процессы совершаются в трубчатых огневых печах, в которых тепло сжигаемого топлива передается сырьевому продукту, а также в теплообменных аппаратах: подогревателях, конденсаторах, испарителях и др. подобных аппаратах.

4-я группа. Механические процессы

Это измельчение, смешение и транспортирование твердых веществ, осуществляемое в дробилках, мельницах, смесителях и дозаторах твердых материалов.

5-я группа. Химически процессы

Включают разнообразные химические реакции и протекают в различных реакционных аппаратах: реакторах, пиролизных башнях и других устройствах.

## **1.2. Обеспечение безопасности технологических процессов и производств**

Безопасность технологических процессов и производств (БТП) на НПЗ и НХЗ обеспечивается на всех стадиях производственного цикла: при проектировании, изготовлении, монтаже, ремонте и эксплуатации сложного многофункционального оборудования, работающего в условиях низких и высоких температур от  $-160^{\circ}$  до  $+3000^{\circ}\text{C}$  и давления до 30 МПа (300 атм) с использованием агрессивных, высокотоксичных и взрывопожароопасных сред тремя основными направлениями:

- безопасностью конструкций всего оборудования и надежностью его работы;
- безопасностью всех технологических процессов;
- безопасностью самого процесса труда при изготовлении, монтаже, ремонте и эксплуатации как отдельных агрегатов и систем, так и оборудования в целом.

### *Оценка травмобезопасности производства*

В соответствии с требованием федерального закона «О промышленной безопасности производственных объектов», в отраслях и организациях промышленности необходимо проводить оценку травмобезопасности производства, которая включает в себя:

- оценку безопасности оборудования;
- оценку безопасности персонала.

Оценка безопасности оборудования – это сравнение реальных, действительных технических параметров конкретных установок с заводским регламентом и с нормативными значениями основных параметров, таких как:

- температура ( $t$ , °C) и давление ( $P$ , МПа) рабочих тел;
- производительность ( $Q$ , м<sup>3</sup>/с);
- вибрация ( $V$ , мм/с,  $L_v$ , дБ) и шум ( $p$ , Па,  $L_p$ , дБ);
- интенсивность излучений ( $E$ , Вт/м<sup>2</sup>);
- загазованность ( $d$ , мг/м<sup>3</sup>) и токсичность (%) на рабочих местах.

Особенно важной в современных условиях становится оценка безопасности основного оборудования на производствах при его 70% физическом износе. Оценка безопасности персонала на промышленных предприятиях означает проведение постоянного контроля выполнения правил безопасности и требований, установленных нормативными документами.

### *Обеспечение безопасности на производстве*

Безопасность и безвредность процесса труда на производстве обеспечивается следующими техническими средствами:

- использованием механизации и автоматизации вместо ручного труда;
- применением дистанционных систем управления травмоопасными производствами и технологиями;
- качественной герметизацией токсичного и взрывоопасного оборудования;
- своевременным удалением и обезвреживаем отходов производства;
- надежностью работы автоматических взрывопожароопасных систем на предприятиях;
- выполнением правил безопасности при эксплуатации электрических систем и установок;
- применением коллективных и индивидуальных средств защиты (переносные заземления, изолирующие экраны и костюмы, противогазы и др.), которое определяется регламентом предприятия с учетом конкретных рабочих профессий.

Безопасность работ на производстве обеспечивается следующими организационными мероприятиями:

- выполнение всех ремонтно-восстановительных работ только по оформленным нарядам-допускам. На химических предприятиях с взрывоопасными зонами действуют четыре вида нарядов-допусков на производство работ:
  - на проведение ремонтных работ,
  - на проведение газоопасных работ,
  - на выполнение огневых работ,
  - на работы в электроустановках.
- соблюдение производственной дисциплины персоналом и личная ответственность руководителей за организацию и безопасное ведение работ;
- постоянная работа с персоналом: обучение, проведение инструктажей и периодических проверок знаний рабочих и ИТР;



- не допускать производство работ в электроустановках без проверки отсутствия напряжения и установки переносных заземлений;
- не допускать непосредственного контакта работников с токсичными и взрывчатыми веществами и материалами;
- при монтаже и ремонте оборудования соблюдать минимально допустимое расстояние до токоведущих частей электроустановок, находящихся под напряжением.

Таблица 1

Минимально допустимые расстояния до токоведущих частей электроустановок

Напряжение, кВ	От людей, инструмента и ограждений, м	От грузоподъемных машин, стропов, м	
		Собственный ремонтный персонал	Подрядно-монтажные организации
до 1 кВ	на воздушных линиях – 0,6 м	1,0	1,5
	В остальных случаях не нормируется	1,0	1,5
1 – 35	0,6	1,0	2,0
110	1,0	1,5	4,0
500	3,5	4,5	5,0
750	5,0	6,0	10,0
1150	8,0	10,0	11,0

### 1.3. Сведения о травматизме на предприятиях в современных условиях

В настоящий период в условиях стихийного перехода к рыночным отношениям нарушена единая техническая политика охраны труда, что привело к росту травматизма на производстве. По данным Минздрава и Минтруда в России на предприятиях ежегодно погибают от несчастных случаев от 6 до 8 тыс. человек. Из них около 70% погибают от действия электрического тока. Травмируются на производстве около 400 тыс. человек ежегодно, из них около 20 тыс. становятся инвалидами. 60% всех несчастных случаев приходится на предприятия с частной формой собственности. Высокий производственный травматизм наблюдается в строительной отрасли, нефтехимических предприятиях и в сырьедобывающей промышленности.

*Основные причины несчастных случаев на производстве в современных рыночных условиях*

Технические причины:

- несовершенство конструкции с точки зрения безопасности ведения работ (отсутствие защитных кожухов, заземляющих устройств, рым-болтов для транспортировки и др.);
- отсутствие или неработоспособность технических средств защиты и контрольно-измерительных приборов, регистрирующих загазованность,

уровень излучений, вибрации и шума, температуру и давление в рабочих зонах производства;

- отсутствие грузоподъемных механизмов и средств автоматизации;
- эксплуатация неисправных машин и оборудования;
- прогрессирующий физический износ оборудования и его невосполняемость;
- низкое качество ремонтно-восстановительных работ, нарушение производственной технологии.

Организационные причины:

- низкий уровень обучения, слабые знания персонала;
- допуск к работе необученных людей;
- использование персонала для работы не по специальности;
- низкое качество инструктажа;
- низкая производственная и трудовая дисциплина;
- слабая организация работ, отсутствие контроля за работой;
- снижение качества расследования несчастных случаев и аварий на предприятиях.

Санитарно-гигиенические причины:

- высокий уровень загазованности (токсичности) в производственных помещениях и пространствах;
- высокий уровень вибрации и шума;
- низкая освещенность рабочих мест или отсутствие освещенности.

Психофизиологические причины:

- несоответствие состояния работника характеру выполняемой работы (заболевание, алкоголь, наркомания);
- неудовлетворение работой (выполняемая работа не соответствует профессии и квалификации);
- психологический надлом (невыплата или низкий уровень зарплаты).

В выводах государственной инспекции по охране труда особо подчеркивается, что неудовлетворительное состояние безопасности труда, высокий уровень травматизма в значительной мере объясняется необразованностью, некомпетентностью, отсутствием фундаментальных знаний по охране труда у руководителей, специалистов предприятий, окончивших учебные заведения высшего и профессионального образования в последние годы.

## 2. ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

Электробезопасность – система технических и организационных мероприятий, обеспечивающих защиту людей от опасного и вредного воздействия электрического тока, электрической дуги, электрического поля и статического электричества.

### 2.1. Действие электрического тока на человека. Параметры тока, влияющие на исход поражения

Электрический ток, проходя через тело человека, оказывает на него:

- термическое действие – ожоги тела (1,2,3,4-й степени) при прохождении значительных токов и нагрева тканей до температуры 60 – 70°C;
- механическое действие – разрыв и расслоение мышечных тканей, кровеносных сосудов и других органов от перегрева током;
- биологическое действие – сокращение тканей мышц и сухожилий в организме под действием тока;
- электромеханическое действие – разложение молекул крови на заряженные частицы – ионы с изменением в них физико-химического состава;
- электромагнитное действие – изменение структуры живой ткани человека под действием электромагнитного поля;
- комплексное действие – вызывает общее поражение организма.

Параметры электрического тока, влияющие на исход поражения:

*Сила тока через человека  $I_h$ , мА*

Таблица 2

Таблица 2. Действие электрического тока на человека

Действие электрического тока	Переменный ток $f = 50\text{Гц}$ , $U = 220\text{В}$ , $\tau = 2\text{с}$	Постоянный ток
Пороговый ошутимый, мА	0,6 ÷ 1,5	5 ÷ 7
Пороговый неотпускающий, мА	10 ÷ 15	50 ÷ 70
Фибрилляционный, мА	50	-
Смертельный, мА	100	300

*сопротивление тела человека  $R_h$ , Ом*

Электрическое сопротивление тела человека можно представить в виде эквивалентной схемы (рис. 1). Емкость кожи человека  $C_K$  – величина небольшая и колеблется от нескольких сотен микрофард до нескольких микрофард. Поэтому сопротивление тела человека  $R_h$  логично считать состоящим из трех последовательно включенных активных сопротивлений: двух одинаковых сопротивлений наружного слоя кожи и одного сопротивления внутренних тканей тела человека  $R_B$ , т. е.  $R_h = 2R_K + R_B$ . Активное сопротивление  $R_B$  практически у всех людей одинаково и составляет небольшую величину – 300÷500 Ом.

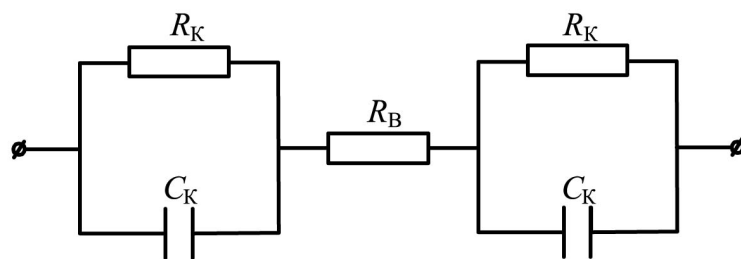


Рис.1. Эквивалентная схема сопротивления человека:

$R_K$  – активное сопротивление верхнего слоя кожи человека – эпидермиса, Ом;  $C_K$  – емкость кожи человека, Ф;  $R_B$  – активное сопротивление внутренних тканей тела человека

Таким образом, сопротивление тела человека  $R_h$  зависит главным образом от состояния кожи, самочувствия и в действительности изменяется в широких пределах от 3 до 100 кОм. Кроме того,  $R_h$  зависит от величины тока  $I_h$ , приложенного напряжения  $U$  и длительности прохождения тока  $\tau$ .

Международной электротехнической комиссией (МЭК) в качестве расчетного сопротивления тела человек принято сопротивление  $R_h^{рас} = 1000$  Ом, за время действия тока  $\tau = 2$ с.

*Род тока: переменный ~ и постоянный =*

Опасность поражения (ОП) человека от действия переменного или постоянного тока зависит от величины напряжения электрической сети (см. Рис. 2).

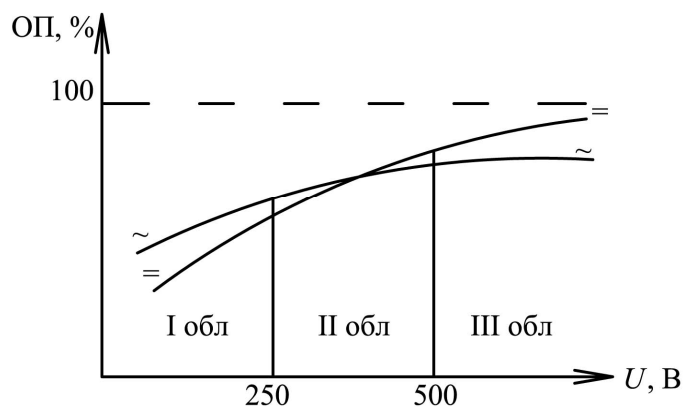


Рис. 2. Влияние рода тока на опасность поражения человека

Из рис. 2 видно, что действие переменного и постоянного тока на организм человека меняется, при этом можно выделить три области зависимости от величины напряжения сети  $U$ :

I обл. Напряжение сети  $U < 250$  В.

В этой области опасность поражения больше от переменного тока, так как он многократно пересекает тело человека, вызывая повышенное раздражение тканей.

II обл. Напряжение сети  $250 \leq U \leq 500$  В.

В этой области действие переменного и постоянного тока считается одинаковым.

III обл. Напряжение сети  $U > 500$  В.

В этой области, особенно в сетях линий электропередач высокого (35кВ) и сверхвысокого напряжений (330кВ), опасность поражения больше от постоянного тока.

При больших напряжениях сопротивление тела человека падает из-за пробоя эпидермиса постоянным током. Кроме того, на переменном токе в сетях больших напряжений возникает дополнительное реактивное сопротивление.

*Частота переменного тока  $f$ , Гц*

Опасность поражения человека в зависимости от частоты переменного тока  $f$  имеет неоднозначный характер и выражена графиком на рис. 3.

Из рис. 3 следует, что при увеличении частоты переменного с 10 до 60 Гц опасность поражения человека электрическим током увеличивается, достигая максимального значения при частоте  $f = 60$  Гц (зона  $a$  и  $b$ ). Это происходит, во-первых, из-за роста числа раздражений в молекулярных тканях тела человека, во-вторых, в зоне частот 10 – 60 Гц амплитудные величины тока поражают весь объем молекулы и нарушают ее функционирование. Отрицательные процессы становятся в ней и в организме в целом необратимыми. С последующим увеличением частоты переменного тока, например до 1000 Гц, опасность поражения человека резко уменьшается (рис.3, зона  $c$ ). Увеличение частоты тока в этой зоне сопровождается дальнейшим уменьшением амплитуды тока, в результате поражается меньший объем молекулярных структур в теле человека.

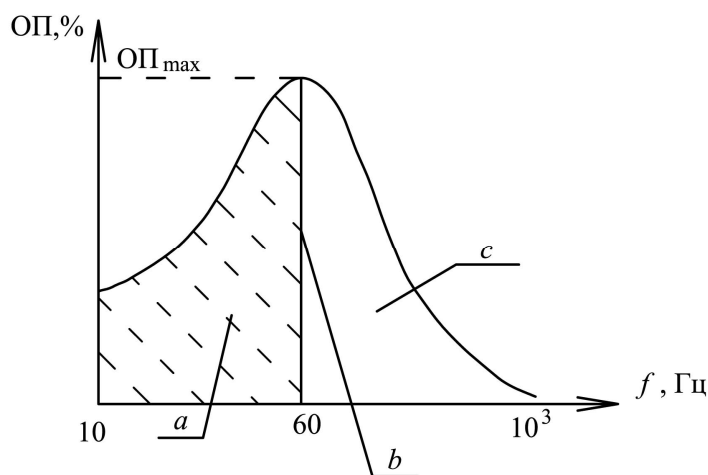


Рис. 3. Влияние частоты тока на опасность поражения человека:  $a$  – зона высокой опасности с увеличением частоты до  $f = 60$  Гц;  $b$  – максимальная опасность при  $f = 60$  Гц;  $c$  – зона меньшей опасности при дальнейшем увеличении частоты  $f > 60$  Гц

В незатронутых током областях обратимые процессы восстанавливают нормальное функционирование тканевых структур и всего организма человека. Кроме того, проявляется действие «поверхностного эффекта» переменного тока, при котором переменный ток, в отличие от постоянного тока, движется по

наружной поверхности любого проводника. С увеличением частоты величина слоя, по которому движется  $\sim$  ток, уменьшается, следовательно, увеличивается незатронутая область структуры живой ткани организма человека.

## 2.2. Растекание тока в земле. Напряжение шага и напряжение прикосновения. Меры защиты

Растекание тока в земле происходит от случайного или преднамеренного проводника – заземлителя.

Необходимо знать, от чего зависит потенциал на поверхности земли и на самом заземлителе и как он изменяется с увеличением или уменьшением расстояния.

### Полусферический заземлитель

Потенциал на поверхности земли в любой точке от полусферического заземлителя  $\varphi_x$  изменяется по гиперболе и определяется зависимостью

$$\varphi_x = \frac{I_3 \cdot \rho_{\Gamma}}{2\pi \cdot x}, \text{ В}, \quad (1)$$

где  $I_3$  – ток через заземлитель, А;  $\rho_{\Gamma}$  – удельное сопротивление грунта, Ом · м;  $x$  – расстояние от заземлителя, м;

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_{\Gamma}}{2\pi \cdot x}, \text{ Ом} - \text{сопротивление грунта}. \quad (2)$$

Потенциал на самом сферическом заземлителе определяется по формуле

$$\varphi_3 = \frac{I_3 \cdot \rho_{\Gamma}}{2\pi \cdot r}, \text{ В}, \quad (3)$$

где  $r$  – радиус полусферы заземлителя, м.

Сопротивление полусферического заземлителя:

$$R_3 = \frac{\rho_{\Gamma}}{2\pi \cdot r}, \text{ Ом}. \quad (4)$$

Из формул (1) и (3) следует выражение

$$\varphi_x = \varphi_3 \frac{r}{x}, \text{ В}. \quad (5)$$

### Вертикально-стержневой заземлитель

Потенциал на поверхности земли в любой точке от вертикального заземлителя  $\varphi_x$  изменяется по логарифму и определяется зависимостью

$$\varphi_x = \frac{I_3 \cdot \rho_{\Gamma}}{2\pi \cdot l} \ln \frac{\sqrt{x^2 + l^2} + l}{x}, \text{ В}, \quad (6)$$

где  $l$  – длина заглубленного заземлителя, м.

Потенциал на самом вертикальном заземлителе определяется из формулы

$$\varphi_3 = \frac{I_3 \cdot \rho_{\Gamma}}{2\pi \cdot l} \ln \frac{2l}{r}, \text{ В}, \quad (7)$$

где  $r$  – радиус стержня (трубы) заземлителя.

Сопротивление вертикального заземлителя:

$$R_3 = \frac{\rho_r}{2\pi \cdot l} \ln \frac{2l}{r}, \text{ Ом.} \quad (8)$$

### Напряжение шага

Напряжением шага называется разность потенциалов между двумя точками на поверхности земли, на которых одновременно стоит человек.

Напряжение шага  $U_{\text{ш}}$  в общем виде с учетом формулы (5) можно выразить

$$U_{\text{ш}} = \varphi_3 \frac{r}{x} - \varphi_3 \frac{r}{x+a}, \text{ В.}$$

Преобразуя эту зависимость, получим

$$U_{\text{ш}} = \varphi_3 \frac{r \cdot a}{x(x+a)}, \text{ В,} \quad (9)$$

где  $a$  – величина шага (м), принимаемая в расчете 0,8 м. Здесь выражение

$\beta = \frac{r \cdot a}{x(x+a)}$  называется коэффициентом шага.

Напряжение шага в общем виде для полусферического заземлителя

$$U_{\text{ш}} = \varphi_3 \beta, \text{ В.} \quad (10)$$

Если расстояние  $x = r$ , то параметры  $\beta$  и  $U_{\text{ш}}$  в случае полусферического заземлителя принимают максимальные значения:

$$\beta^{\max} = \frac{a}{r+a}, \quad (11)$$

$$U_{\text{ш}}^{\max} = \frac{I_3 \cdot \rho_r}{2\pi \cdot r} \left( \frac{a}{r+a} \right), \text{ В.} \quad (12)$$

Максимальное значение напряжения в случае вертикального заземлителя определяется по формуле

$$U_{\text{ш}} = \frac{I_3 \cdot \rho_r}{2\pi \cdot l} \ln \frac{a}{r}, \text{ В.} \quad (13)$$

### *Меры защиты от напряжения шага*

Максимальная опасность от напряжения шага возникает, когда одна ступня человека находится на самом заземлителе, а другая – на расстоянии шага  $a$ .

Опасность отсутствует при нахождении человека на расстоянии от заземлителя  $x \geq 20\text{ м}$ . В зоне действия напряжения шага при  $x \ll 20\text{ м}$  ступни ног необходимо держать вместе и удаляться из нее следует, перемещая ступни ног не отрывая друг от друга и от земли («гусиным шагом»). По отношению к заземлителю необходимо располагаться «фронтом», то есть грудью или спиной, и, в случае протяженного заземлителя, находиться в середине его длины.

### Напряжение прикосновения

Напряжением прикосновения называется разность потенциалов между двумя точками цепи тока: корпусом электроустановки и основанием, на котором стоит человек.

Напряжение прикосновения в общем виде определяется:

$$U_{\text{пр}} = \varphi_3 - \varphi_{\text{ОС}} = \varphi_3 \left( 1 - \frac{\varphi_{\text{ОС}}}{\varphi_3} \right), \text{ В,}$$

где  $\varphi_{\text{ОС}}$  – потенциал основания, на котором стоит человек.

Величина в скобках есть коэффициент прикосновения:

$$\alpha = 1 - \frac{\varphi_{\text{ОС}}}{\varphi_3}, \quad (14)$$

тогда

$$U_{\text{пр}} = \varphi_3 \cdot \alpha. \quad (15)$$

Отсюда следует:

- если расстояние  $x \geq 20\text{м}$ , то  $\varphi_{\text{ОС}} = 0$ ,  $\alpha^{\text{max}} = 1$  и напряжение прикосновения принимает максимальное значение, равное потенциалу на заземлителе  $\varphi_3$ :  $U_{\text{пр}}^{\text{max}} = \varphi_3$ , где  $\varphi_3 = \varphi_{\text{корп}}$ , то есть с удалением от заземлителя напряжение прикосновения увеличивается;
- если расстояние  $x = 0$ , то  $\varphi_{\text{ОС}} = \varphi_3$ ,  $\alpha = 0$  и напряжение прикосновения равно нулю  $U_{\text{пр}} = 0$ , то есть при нахождении человека непосредственно над заземлителем опасность поражения от напряжения прикосновения отсутствует, так как потенциалы на корпусе ЭУ и на основании равны между собой.

Максимальные значения напряжения прикосновения:

– при полусферическом заземлителе

$$U_{\text{пр}}^{\text{max}} = \frac{I_3 \rho_{\Gamma}}{2\pi r}, \text{ В;} \quad (16)$$

– при вертикальном заземлителе

$$U_{\text{пр}}^{\text{max}} = \frac{I_3 \rho_{\Gamma}}{2\pi l} \ln \frac{2l}{r}, \text{ В.} \quad (17)$$

Сравнительный анализ опасностей поражения человека от напряжения шага и напряжения прикосновения показывает:

- максимальная опасность от напряжения шага  $U_{\text{ш}}$  – вблизи заземлителя, а от напряжения прикосновения  $U_{\text{пр}}$  – вдали от заземлителя;
- напряжение прикосновения без дополнительных сопротивлений в цепи человека всегда опаснее напряжения шага, так как, во-первых, максимальное значение коэффициента прикосновения  $\alpha^{\text{max}}=1$ , в то время как  $\beta^{\text{max}}$  всегда меньше единицы, во-вторых, протекание тока по пути «рука-нога» или «рука-рука» от напряжения прикосновения опаснее, чем по пути «нога-нога» от напряжения шага.

### **Меры защиты от напряжения прикосновения и шага**

- Для снижения опасности поражения человека от напряжения прикосновения в производственных помещениях заземлители должны устанавливаться ближе к электроустановкам с учетом расположения рабочих мест.
- Для устранения опасности поражения и от напряжения прикосновения и от напряжения шага применяется техническое средство – выравнивание по-



тенциала основания, для чего используется контурное заземление с установкой группового заземлителя в виде сетки. Вертикальные заземлители располагаются на расстоянии друг от друга равном или меньшим их длины. [1, с.75, 114, 124]

### 2.3. Опасность поражения человека в различных электрических сетях

Оценка опасности поражения человека сводится к определению значения тока, протекающего через тело человека. Величина тока  $I_h$  зависит от схемы электрической сети, от режима нейтрали источника питания, параметров трехфазной или однофазной сети и схемы прикосновения человека к токоведущим проводникам или частям электроустановки.

#### Трехфазная сеть с изолированной нейтралью

Ток, проходящий через человека при однофазном прикосновении к проводнику, в рассматриваемой схеме выражается зависимостью:

$$I_h = \frac{3U_\phi}{3R_h + z} \quad \text{или} \quad I_h = \frac{U_\phi}{R_h + \frac{z}{3}}, \text{ А,}$$

где  $z = \sqrt{r_{из}^2 + \left(\frac{1}{j\omega c}\right)^2}$  – комплекс полного сопротивления фазных проводников, которое в 3- фазной сети определяется через сумму проводимостей  $Y$  отдельных сопротивлений.

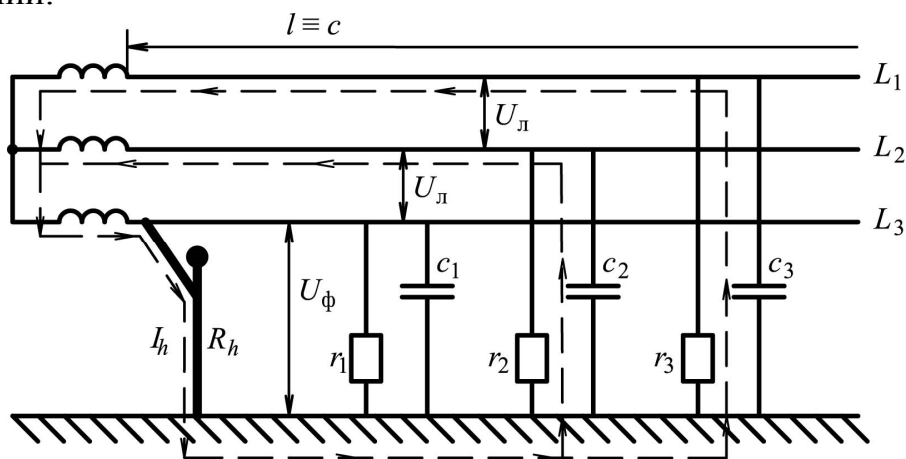


Рис.4. Прикосновение человека к проводнику в трехфазной сети с изолированной нейтралью при нормальном режиме работы:

$r_1, r_2, r_3$  – активное сопротивление изоляции  $r_{из}$  фазных проводников  $L_1, L_2, L_3$ , Ом;  
 $c_1, c_2, c_3$  – емкости фазных проводников, Ф;  $U_\phi$  – фазное напряжение, В;

$U_{л} = \sqrt{3}U_\phi$  – линейное напряжение;  $l$  – длина проводников, м, определяющая полную емкость проводников;

— — — — — путь тока через человека

Рассмотрим возможные случаи:

– короткие электрические сети ( $l = 400$  м). Принимаем:

$c_1 = c_2 = c_3 \approx 0$  и  $x_c \approx \infty$ ,  $r_1 = r_2 = r_3 = r_{из}$ , следовательно,  $z = r_{из}$ . Тогда

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + \frac{r_{из}}{3}}, \text{ А}; \quad (18)$$

– протяжные электрические сети. Принимаем:

$c_1 = c_2 = c_3 = c$ ,  $r_1 = r_2 = r_3 \approx \infty$ , следовательно, в действительной форме

$$z = \frac{1}{j \omega c} = x_c, \text{ тогда}$$

$$I_h = \frac{U_\phi}{\sqrt{R_h^2 + \left(\frac{x_c}{3}\right)^2}}, \text{ А}. \quad (19)$$

В рассматриваемой электрической сети (см. рис. 4) в аварийном режиме работы при замыкании фазного проводника  $L_2$  на землю изменится путь тока через человека и его величина будет определяться формулой

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + r_{зм}}, \text{ А}. \quad (20)$$

В этом случае опасность поражения очень высока, так как сопротивление замыкания обычно мало ( $r_{зм} \approx 100 \text{ Ом}$ ), а человек оказывается под линейным напряжением.

### Трехфазная сеть с глухозаземленной нейтралью

В 3-фазной сети с глухозаземленной нейтралью при однофазном прикосновении к проводнику ток через человека будет определяться:

- в нормальном режиме работы сети

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + r_0}, \text{ А}, \quad (21)$$

где  $r_0$  – сопротивление глухозаземленной нейтрали, согласно ПУЭ принимаем следующие значения:

$r_0 = 2 \text{ Ом}$  при  $U = 660/380 \text{ В}$ ;

$r_0 = 4 \text{ Ом}$  при  $U = 380/220 \text{ В}$ ;

$r_0 = 8 \text{ Ом}$  при  $U = 220/127 \text{ В}$ .

- в аварийном режиме работы сети при замыкании фазного проводника на землю ток  $I_h$  определяется как

$$I_h = U_\phi \left[ \frac{r_{зм} + r_0 \sqrt{3}}{r_{зм} r_0 + R_h (r_{зм} + r_0)} \right], \text{ А}. \quad (22)$$

Из формулы (22) видно, что прикосновение человека к проводнику в 3-фазной сети с глухозаземленной нейтралью в аварийный период более опасно, чем при нормальном режиме, но менее опасно, чем в сети с изолированной нейтралью при аварийном режиме работы.

## Однофазная двухпроводная сеть с изолированной нейтралью

Нормальный режим работы сети.

Ток через человека в случае его прикосновения к фазному проводнику в двухпроводной сети, как на рис. 5, определяется зависимостью:

$$I_h = \frac{U_\phi \cdot r_1}{R_h \cdot r_1 + R_h \cdot r_2 + r_1 \cdot r_2}, \text{ А.} \quad (23)$$

В том случае, когда сопротивление изоляции фазного и нулевого рабочего проводников равны между собой, то есть  $r_1 = r_2 = r_{из}$ , формула (23) упрощается и принимает следующий вид:

$$I_h = \frac{U_\phi}{2R_h + r_{из}}, \text{ А.} \quad (24)$$

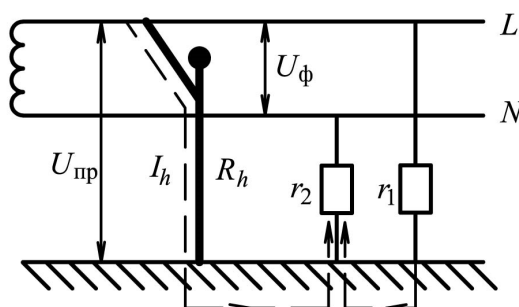


Рис. 5. Прикосновение человека к фазному проводнику в 2-фазной сети с изолированной нейтралью при нормальном режиме работы:  
 $L$  – фазный проводник;  $N$  – нулевой рабочий проводник;  $r_1, r_2$  – сопротивления изоляции проводников  $L$  и  $N$

Из формул (23) и (24) следуют выводы:

- опасность поражения человека в однофазных двухпроводных сетях при условии неравенства сопротивлений  $r_1$  и  $r_2$  повышается с увеличением сопротивления изоляции  $r_2$  фазного проводника  $L$ ;
- опасность поражения в случае равенств обоих сопротивлений  $r_1$  и  $r_2$  уменьшается с увеличением сопротивления изоляции обоих проводников  $r_{из}$ ;
- для снижения опасности поражения человека электротоком в однофазных сетях фазные и нулевые проводники следует монтировать с одинаковыми и возможно большими сопротивлениями изоляции ( $r_{из}^{норм}=500 \text{ кОм}$ ).

## Двухфазное прикосновение к фазным проводникам

Двухфазное прикосновение происходит во время работы под напряжением в электроустановках преимущественно до 1000 В на щитах, сборках, воздушных линиях, например, при замене сгоревших предохранителей, при работе в проколотых или разорванных диэлектрических перчатках, при эксплуатации и ремонте рубильников, штепсельных розеток, проводников с поврежденной изоляцией, зажимов сварочных трансформаторов и в других случаях.

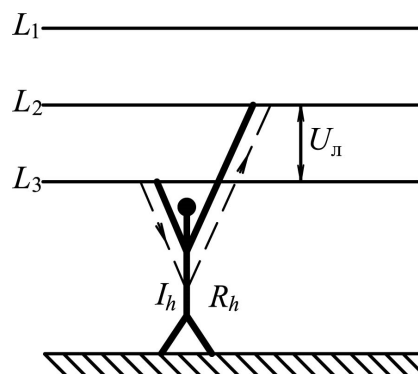


Рис. 6. Двухфазное прикосновение человека к проводникам в 3-фазной электрической сети

Величина тока, проходящего через человека, определяется формулой

$$I_h = \frac{U_{л}}{R_h}, \text{ А.} \quad (25)$$

Двухфазное прикосновение – самый опасный случай, поскольку к телу человека прикладывается линейное напряжение, а путь тока самый опасный «рука-сердце-рука».

Ток, проходящий через человека, не зависит от схемы сети, режима нейтрали и других факторов и имеет величину, превышающую величину смертельного тока (100 мА).

Действие персонала при оказании помощи пострадавшему при 2-фазном прикосновении:

- обесточить электрическую сеть или отключить ЭУ, если известно место нахождения отключающего аппарата.
- отсоединить одну руку пострадавшего от электрического проводника, действуя одной рукой при помощи сухой одежды или изолирующего предмета. При этом произойдет перевод двухфазного соединения в однофазное, при котором изменится путь тока через человека  $I_h$  и уменьшится его величина.
- отсоединить вторую руку пострадавшего от проводника, действуя также одной рукой через сухую одежду или при помощи изолирующего предмета.
- оказать первую медицинскую помощь пострадавшему – непрямой массаж сердца и искусственное дыхание (в зависимости от состояния) и вызвать медицинский персонал.

### **Классификация помещений по электрической опасности**

В зависимости от тех или иных условий разным помещениям присуща различная степень опасности поражения током.

По действующим правилам все помещения по электрической опасности делятся на три класса:

I класс – без повышенной опасности, к которому относятся сухие помещения с относительной влажностью не более 60%, беспыльные, с нормальной температурой воздуха, с изолирующими нетокопроводными полами, например, деревянными или покрытыми линолеумом. Пример: жилые комнаты, конторы, аудитории, некоторые лаборатории и др.

II класс – с повышенной опасностью. К таким помещениям относятся сырые помещения, в которых относительная влажность длительно превышает 75%; жаркие, в которых температура воздуха превышает постоянно или периодически 35°C; помещения пыльные, с оседанием пыли (угольной, металлической и др.) на проводниках и внутри машин; помещения с токопроводящими полами – металлическими, земляными, кирпичными, бетонными и т.п. Пример: цеха и мастерские по механической обработке металла или дерева, склады деталей и материалов, другие производственные помещения.

III класс – особо опасные помещения. Это сырые помещения с относительной влажностью, близкой к 100%; помещения с химически активной средой, в которых выделяются агрессивные газы, жидкости. Пример: цеха электростанций, помещения аккумуляторных и электролизерных установок. Наружные и подземные территории с размещением на них ЭУ относятся к особо опасным помещениям III класса.

#### **2.4. Меры защиты человека от поражения электрическим током**

Согласно ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защит» и «Правил эксплуатации электроустановок потребителей», для защиты человека от поражения электрическим током применяются следующие меры защиты:

- технические средства защиты;
- организационно-технические мероприятия;
- организационные мероприятия.

*Технические средства защиты:*

- применение малых напряжений;
- применение двойной изоляции;
- контроль изоляции электрических проводников;
- гальваническое разделение сетей;
- компенсация емкостных токов замыкания на землю;
- защита от перетока высокого напряжения в цепь низкого напряжения;
- выравнивание потенциала основания;
- защитное заземление;
- защитное зануление;
- защитное отключение.

*Организационно-технические мероприятия:*

- применение коллективных и индивидуальных электрозащитных средств: переносных заземлений, измерительных штанг, указателей напряжений и др., а также диэлектрических перчаток, галош, бот и ковров;
- применение предохранительных средств индивидуальной защиты (СИЗ): защитных костюмов, противогазов, монтерских поясов, когтей, страховочных канатов, защитных очков, щитков и касок;
- применение предупредительных плакатов, цепей и замков;

- применение электрических и механических блокировок, конечных выключателей, ограждений, щитов и экранов для защиты от прикосновения к токоведущим частям;
- расположение токоведущих частей на недоступной высоте или в недоступных местах;
- использование переносных заземлений и закороток.

*Организационные мероприятия:*

- высокий уровень производственной дисциплины, организации работ и большая ответственность всего электротехнического персонала на предприятиях;
- строгое выполнение нарядной системы и правильное оформление работ по распоряжениям;
- высокий уровень знаний и обучение персонала электрической безопасности в квалификационных группах II-V;
- выполнение требований «Межотраслевых правил по охране труда (Правил безопасности) при эксплуатации электроустановок» и других нормативных документов;
- постоянный контроль выполнения работ.

Рассмотрим технические средства защиты человека от поражения электрическим током.

*Применение малых напряжений*

В помещениях II и III классов особо опасных и с повышенной опасностью применяется малое напряжение  $U = 12$  В, в помещениях I класса без повышенной опасности применяются малые напряжения  $U = 24, 36$  и  $42$  В. В качестве источников малого напряжения применяются понижающие трансформаторы, обладающие простой конструкцией и высокой надежностью. Применение автотрансформаторов в качестве источников малого напряжения запрещается, так как вторичная сеть малого напряжения в этом случае всегда оказывается связанной с первичной сетью высокого напряжения.

*Применение двойной изоляции*

Двойная изоляция состоит из рабочей (основной) и дополнительной изоляции, которая служит для защиты людей в случае повреждения рабочей изоляции. Двойная изоляция осуществляется путем покрытия металлических корпусов и рукояток электрооборудования слоем электроизоляционного материала. Однако при разрушении этого слоя металлические части могут оказаться под напряжением.

Более современный способ применения двойной изоляции – изготовление корпусов ЭУ из токонепроводящих материалов. Примером могут служить электрическая дрель или корпус компьютера, выполненные из пластмассы. Корпуса ЭУ, выполненные с двойной изоляцией, не требуют защитного заземления или зануления. Двойная изоляция не может применяться там, где она подвергается

термическому нагреву. Условное обозначение двойной изоляции – двойной квадрат. □

### *Контроль изоляции электрических проводников*

Надежность работы оборудования и безопасность эксплуатации электроустановок в значительной степени определяются надежностью электрической изоляции. От сопротивления изоляции проводников в сетях с изолированной нейтралью зависит величина тока, прошедшего через человека. При заземленной нейтрали ток через человека не зависит от сопротивления изоляции, но при плохом состоянии изоляции возможны короткие замыкания, замыкания на землю или на корпуса электроустановок, что увеличивает опасность поражения людей.

На стадии проектирования и в процессе эксплуатации ЭУ, при выборе типа изоляции необходимо учесть влияние температуры и влажности окружающей среды, наличие ЛВЖ, агрессивных газов и пыли в производственных помещениях и территориях.

На всех электроэнергетических предприятиях в течение всего периода эксплуатации электроустановок осуществляется периодический и постоянный контроль изоляции проводников.

Периодический контроль изоляции проводников проводится после монтажа, ремонта ЭУ или в случае обнаружения дефектов, а также в плановые сроки через 3, 6, 12 месяцев согласно ПУЭ. Измерение сопротивления изоляции осуществляется мегаомметром на отключенных от сети отдельных участках электрической схемы. Полученные данные сравниваются с нормативными значениями.

В сетях напряжением до 1000 В в помещениях I класса  $r_{из}^{норм} = 0,5$  МОм на фазу. В сетях напряжением более 1000 В в помещениях II, III классов  $r_{из-норм} = 1$  МОм.

В сетях с изолированной нейтралью оценка безопасности работы всей сети проводится измерением сопротивления изоляции под рабочим напряжением. При этом результаты измерений сравниваются с данными предыдущих замеров.

Постоянный контроль изоляции осуществляется в течение всего времени работы электрической сети под рабочим напряжением с пульта управления энергопредприятия. Получили распространение две схемы измерения: схема трех вольтметров и вентильная схема контроля изоляции.

Схема трех вольтметров. Принципиальная схема представлена на рис. 7.

При равенстве сопротивлений изоляции  $r_1 = r_2 = r_3$  или симметричном ухудшении изоляции, вплоть до короткого замыкания, показания вольтметров не изменятся и будут равны фазному напряжению  $V_1 = V_2 = V_3 = U_{\phi}$ . Это основной недостаток схемы трех вольтметров. Но в аварийном режиме при замыкании фазы на землю, например проводника  $L_1$ , как на рис. 7, показание вольтметра  $V_1$  будет равным нулю ( $V_1=0$ ), а показания вольтметров  $V_2$  и  $V_3$  исправных фазных проводников  $L_1$  и  $L_3$  будут близки к линейному напряжению  $\sqrt{3}U_{\phi}$ .

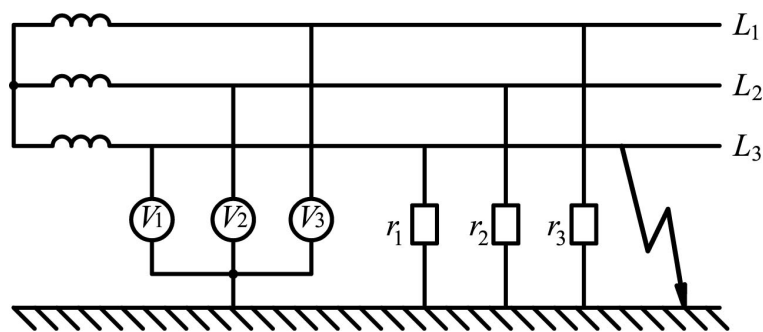


Рис. 7. Схема трех вольтметров:

$V_1, V_2, V_3$  – вольтметры, включенные «звездой» с общей заземленной точкой;  $r_1, r_2, r_3$  – сопротивления изоляции фазных проводников  $L_1, L_2, L_3$

Отсюда следует, что схема трехфазных вольтметров не измеряет сопротивление изоляции, а только обнаруживает замыкание конкретной фазы на землю. При появлении дефекта внутри вольтметра стрелка этого прибора покажет ноль, а два других вольтметра будут показывать фазное напряжение  $U_{\phi}$ , что и является способностью схемы осуществлять самоконтроль.

Вентильная схема контроля представлена на рис. 8.

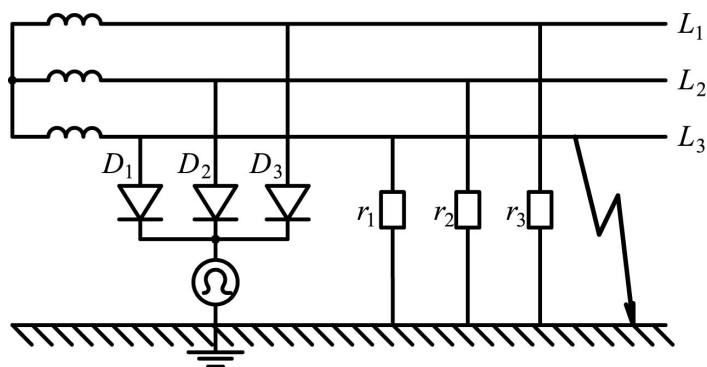


Рис. 8. Вентильная схема контроля изоляции:

$D_1, D_2, D_3$  – вентили (диоды), соединенные «звездой»;  
 $r_1, r_2, r_3$  – сопротивления изоляции фазных проводников  $L_1, L_2, L_3$

Вентильная схема контроля измеряет сопротивление изоляции выпрямленным током с помощью прибора «омметр». Достоинством схемы является фиксация симметричного и несимметричного изменения сопротивления изоляции фазных проводников. Преимущества: компактны и просты по устройству. Недостатки: не фиксируется замыкание проводника на землю – стрелка прибора показывает  $\infty$ , что не соответствует аварийному режиму. Не осуществляется самоконтроль, так как при неисправности внутри прибора стрелка показывает  $\infty$ , то есть исправную изоляцию.

### Гальваническое разделение сетей

Разветвленная электрическая сеть большой протяженности имеет значительную емкость и небольшое емкостное сопротивление изоляции относительно земли. Ток замыкания на землю в такой сети может быть значительным и од-



нофазное прикосновение в сети даже с изолированной нейтралью является опасным.

Электрическое разделение протяженных сетей на несколько гальванически не связанных коротких участков осуществляется в сетях до 1000 В постановкой разделительных трансформаторов, как это показано на рис. 9.

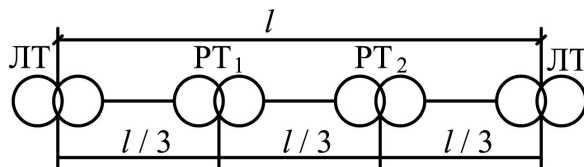


Рис. 9. Гальваническое разделение сети:

ЛТ – линейные трансформаторы; РТ<sub>1</sub>, РТ<sub>2</sub> – разделительные трансформаторы;  $l$  – протяженность сети, км;  $l/3$  – протяженность отдельных участков, км

В представленной на рис. 9 схеме установка двух разделительных трансформаторов РТ<sub>1</sub> и РТ<sub>2</sub> сократила протяженность отдельных участков по сравнению с общей длиной в три раза. Следовательно, произошло уменьшение емкости и повышение общего сопротивления сети, а значит, и повышение безопасности ее эксплуатации.

В разделительных трансформаторах, предназначенных для гальванического разделения сети, не происходит преобразование энергии, так как число витков и величины напряжений в первичных и вторичных обмотках равны между собой, то есть коэффициент трансформации  $K_T$  равен единице.

#### *Компенсация емкостных токов замыкания на землю*

Емкость сети в процессе эксплуатации может изменяться лишь за счет отключения или включения отдельных участков, что определяется эксплуатационной необходимостью снабжения электричеством потребителей.

Снижение токов замыкания на землю, уменьшение токов утечки достигается компенсацией емкостной составляющей индуктивным полем.

Для этого в трехфазных сетях напряжением более 1000 В между нейтралью и землей устанавливается компенсационная катушка в виде реактора или дросселя, как на рис. 10.

Величина индуктивности  $L$  в компенсирующем дросселе выбирается из условия резонанса:

$$\omega L = \frac{1}{3\omega c_{\phi}}, \text{ отсюда } L = \frac{1}{3\omega^2 c_{\phi}}, \text{ Гн.}$$

Емкостный и индуктивный токи находятся в противофазе и при настройке в резонанс взаимно компенсируются. При этом ток замыкания на землю (ток через человека  $I_h$ ) уменьшается и повышается безопасность обслуживания электрических сетей.

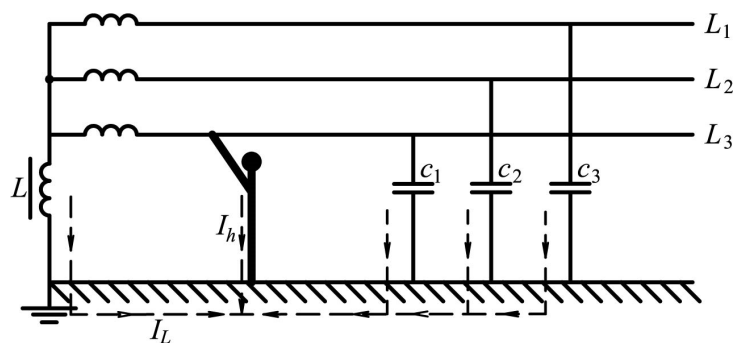


Рис. 10. Компенсация емкостных токов утечки:

$L$  – индуктивность дросселя;  $c_1 = c_2 = c_3 = c_\phi$  – емкость фазных проводников  $L_1, L_2, L_3$ ;

$I_L$  – индуктивный ток;  $I_c$  – емкостный ток;  $I_h$  – ток через человека

Правила устройства электроустановок предписывают компенсацию, если ток замыкания на землю (ток утечки) превышает:

в сетях напряжением 35 кВ – 10 А,

в сетях напряжением 20 кВ – 15 А,

в сетях напряжением 10 кВ – 20 А,

в сетях напряжением 6,3 кВ – 30 А.

#### *Защита от перетока высокого напряжения в сеть низкого напряжения*

При повреждении изоляции в самом трансформаторе может произойти замыкание не только на его корпус, но и между обмотками разных напряжений. В этом случае произойдет переток высокого напряжения в сеть низкого, на которое эта сеть не рассчитана. Возникают опасные напряжения прикосновения и шага.

В трехфазных сетях снижение опасности достигается применением глухозаземленной нейтрали во вторичных обмотках трансформатора.

В сетях с изолированной нейтралью опасность перетока высокого напряжения устраняется установкой пробивного предохранителя, как это показано на рис. 11.

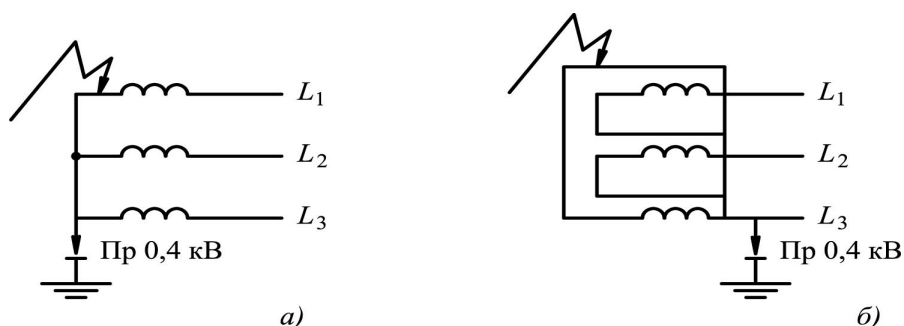


Рис. 11 Схемы подключения пробивного предохранителя:

Пр 0,4 кВ – пробивной предохранитель, подключенный:

а) в нейтраль обмоток, соединенных в звезду, б) на фазу  $L_3$  при соединении обмоток в треугольник

Из рис. 11 видно, что в случае соединения вторичных обмоток трансформатора  $TU\ 6500/380\ В$  с низкой стороны в звезду, пробивной предохранитель  $Пр\ 0,4\ кВ$  устанавливается в нейтраль и соединен с землей, а в случае соединения вторичных обмоток в треугольник, пробивной предохранитель  $Пр\ 0,4\ В$  устанавливается на фазный проводник, например, на  $L_3$ .

При замыкании между обмотками и переходе напряжения с высокой стороны на низкую пробивной предохранитель оказывается под высоким напряжением, воздушные промежутки в слюдяной прокладке пробиваются, электроды замыкаются и нейтраль или фаза оказываются заземленными. Тем самым исключается появление во вторичной сети высокого напряжения.

### *Выравнивание потенциала основания*

Для снижения опасности поражения человека от напряжения прикосновения и напряжения шага в производственных помещениях и на территориях, занятых электрооборудованием, применяется техническое средство защиты – выравнивание потенциала основания, на котором находятся и перемещаются люди. Для этой цели, например на территориях подстанций или открытых распределительных устройствах, применяются контурные заземляющие устройства с использованием групповых заземлителей, в которых заземлители располагаются на расстоянии друг от друга равном или меньшим их длины. Такое расположение вертикальных электродов-заземлителей и горизонтальных соединительных полос обеспечивает относительно полное выравнивание потенциалов на площадке, где расположены ЭУ, на которых возможны замыкания фазных проводников на корпус. Таким образом, устраняется опасность поражения и от напряжения шага, и от напряжения прикосновения.

### *Защитное заземление*

ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ «Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление» и «Правила устройства электроустановок», изд. 2002 г., регламентируют защитное заземление и защитное зануление ЭУ.

Защитное заземление – наиболее простое и эффективное средство защиты человека от поражения электрическим током при появлении напряжения на металлических нетоковедущих корпусах (устройствах) ЭУ.

Область применения защитного заземления:

- в помещениях без повышенной опасности I класса при напряжении 380 В и выше на переменном  $\sim$  токе и при напряжении 440 В и выше на постоянном = токе;
- в помещениях с повышенной опасностью II класса и в особо опасных помещениях III класса при напряжении 42 В и выше на  $\sim$  токе и при напряжении 110 В и выше на = токе;
- во взрывопожароопасных помещениях и зонах категорий А и Б, в электросварочных установках независимо от величины напряжения и рода тока.

В трехфазных сетях напряжением до 1000 В защитное заземление должно применяться с изолированным режимом нейтрали источника тока. В сетях напряжением выше 1000 В – с любым режимом нейтрали.

Защитное заземление предназначено для устранения опасности поражения человека при замыкании на корпус ЭУ посредством уменьшения напряжения прикосновения за счет снижения потенциала на корпусе ЭУ и повышения потенциала основания, на котором стоит человек.

Действие защитного заземления можно понять, рассмотрев рис. 12, на котором представлена принципиальная схема защитного заземления в сетях трехфазного тока.

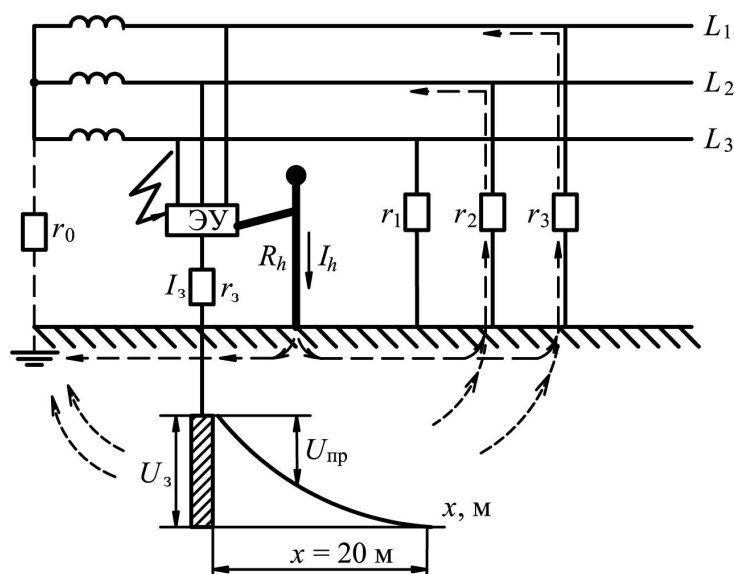


Рис. 12. Принципиальная схема защитного заземления в сетях трехфазного тока:  $I_h$  – ток через человека, мА;  $R_h$  – сопротивление человека, Ом;  $I_3$  – ток через заземлитель, А;  $r_3$  – сопротивление защитного заземления, Ом;  $r_0$  – сопротивление глухозаземленной нейтрали, Ом;  $r_1 = r_2 = r_3 = r_{\text{из}}$  – сопротивления фазных проводников  $L_1, L_2, L_3$ ;  $U_{\text{пр}}$  – напряжение прикосновения, В;  $U_3$  – напряжение на заземлителе; — — — — — путь тока через заземлитель и человека

Ток, проходящий через человека  $I_h$ , выражается известной зависимостью

$$I_h = \frac{U_{\text{пр}}}{R_h}, \text{ А.}$$

Напряжение прикосновения  $U_{\text{пр}}$  определяется по формуле  $U_{\text{пр}} = U_3 \cdot \alpha$ , В, где  $\alpha$  – коэффициент прикосновения.

Напряжение на заземлителе выражается формулой:

$$U_3 = I_3 r_3, \text{ В.}$$

Поставляя величину  $U_3$  в исходное выражение тока через человека, получим формулу для определения  $I_h$  в общем виде:

$$I_h = \frac{I_3 \cdot r_3 \cdot \alpha}{R_h}, \text{ А.} \quad (26)$$

Коэффициент  $\alpha$  изменяется от нуля до единицы в зависимости от расстояния между заземлителем и местом, где стоит человек, при  $x = 0$   $\alpha = 0$ , при  $x \geq 20$  м  $\alpha = 1$ .

Найдем выражение для определения величины  $I_h$  при различных режимах нейтрали.

#### Сеть с изолированной нейтралью

Величина тока, проходящего через заземлитель, определяется из формулы

$$I_3 = \frac{U_\phi}{r_3 + \frac{r_{из}}{3}}, \text{ А.} \quad (27)$$

Подставив значение тока  $I_3$  в формулу (26), получим основную зависимость:

$$I_h = \frac{U_\phi \cdot r_3 \cdot \alpha}{\left(r_3 + \frac{r_{из}}{3}\right) R_h}, \text{ А.} \quad (28)$$

Согласно ПУЭ наибольшее допустимое сопротивление защитного заземления  $r_3$  принимается равным: в установках до 1000 В  $r_3 = 4$  Ом, если полная мощность  $S$  источника тока равна или превышает 100 кВА, если  $S$  меньше 100 кВА – сопротивление  $r_3 = 10$  Ом; в установках выше 1000 В  $r_3 \leq 250 / I_3 \leq 10$  Ом – в сетях 6, 10 и 35 кВ, в сетях напряжением 110 кВ и более  $r_3 = 0,5$  Ом.

#### Сеть с глухозаземленной нейтралью

Ток через заземлитель в этом случае определяется так:

$$I_3 = \frac{U_\phi}{r_3 + r_0}, \text{ А.} \quad (29)$$

Подставив значение  $I_3$  в формулу (26), получим

$$I_h = \frac{U_\phi \cdot r_3 \cdot \alpha}{(r_3 + r_0) R_h}, \text{ А.} \quad (30)$$

Анализируя полученные формулы (28) и (30), делаем следующие выводы:

- эффективность действия защитного заземления достигается, во-первых, при работе в сетях с изолированной нейтралью; во-вторых, при высоком активном сопротивлении изоляции фазных проводников  $r_{из}$ ; в-третьих, при малых значениях  $r_3$ ;
- защитное заземление в сетях до 1000 В с заземленной нейтралью не эффективно, так как сопротивление глухозаземленной нейтрали  $r_0$  существенно меньше активного сопротивления изоляции фазных проводников  $r_{из}$ .

В протяженных сетях утрачивается защитная роль изоляции, так как замыкание тока происходит на малое емкостное сопротивление, то есть большую емкостную проводимость. В таких сетях напряжением больше 1000 В при замыкании на корпус ЭУ или на землю срабатывает быстродействующая релей-

ная защита и поврежденная установка или линия электропередачи будет отключена за время  $\tau < 0,2$  с.

### Защитное зануление

Защитным занулением называется преднамеренное соединение нетоковедущих металлических корпусов электроустановок с нулевым защитным проводником  $PE$ . Предназначено для быстрого автоматического отключения ЭУ, корпус которой оказался под напряжением.

Защитное зануление применяется на электроустановках напряжением до 1000 В в сетях трехфазных четырех- и пятипроводных с глухозаземленной нейтралью, а также в сетях однофазных двух- и трехпроводных с заземленным нулевым рабочим проводником  $N$  и в сетях постоянного тока с заземленной точкой источника.

Действие защитного зануления и назначение отдельных элементов схемы рассмотрим на рис. 13.

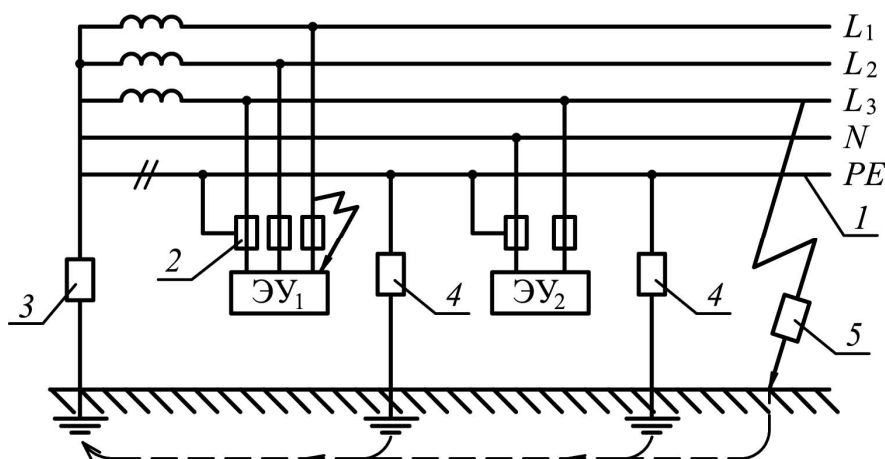


Рис. 13. Принципиальная схема защитного заземления:

$1$  – нулевой защитный проводник  $PE$ ;  $2$  – аппараты защиты (предохранители);  $3$  – глухозаземленная нейтраль  $r_0$ ;  $4$  – повторное заземление  $r_{п}$ ;  $5$  – замыкание фазного проводника на землю  $r_{зм}$ ;  $L_1, L_2, L_3$  – фазные проводники;  $N$  – нулевой рабочий проводник

Нулевой защитный проводник  $PE$  предназначен для соединения зануляемых корпусов ЭУ<sub>1</sub> (трехфазный потребитель) и ЭУ<sub>2</sub> (однофазный потребитель) с глухозаземленной нейтралью и перевода тока замыкания на ЭУ<sub>1</sub> в ток короткого замыкания за счет малого сопротивления  $r_{PE} \leq 0,2$  Ом.

Аппараты защиты (предохранители) предназначены для быстрого (за время  $\tau \leq 0,2$  с) отключения поврежденной установки от питающей сети током короткого замыкания.

Глухозаземленная нейтраль с сопротивлением  $r_0$  предназначена для срабатывания защитного зануления при обрыве нулевого защитного проводника  $PE$  (например, в указанном знаком // на рис. 13 месте), а также для снижения напряжения на корпусах ЭУ<sub>1</sub> и ЭУ<sub>2</sub> при замыкании фазного проводника, например  $L_3$ , на землю.

Повторное заземление с сопротивлением  $r_{\text{п}}$  предназначено для срабатывания защитного зануления при обрыве  $PE$  в указанном месте, а также для снижения опасности поражения на последующих корпусах электроустановок, присоединенных к нулевому защитному проводнику  $PE$  ( $\text{ЭУ}_2$ ).

Повторное заземление необходимо устанавливать после каждой ЭУ, на которой возможно замыкание фазного проводника на корпус, а также в протяженных сетях через каждые 200 м.

Зануление металлических корпусов переносных электроприемников (например, сверлильного устройства) в однофазных сетях осуществляется специальной жилой, соединяющей корпус ЭУ с нулевым рабочим проводником  $N$  в двухпроводных схемах и с нулевым защитным проводником  $PE$  в трехпроводных однофазных сетях.

### *Защитное отключение*

Защитным отключением называется быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение ЭУ при возникновении в ней опасности поражения человека электрическим током.

Такая опасность возникает при замыкании фазного проводника на корпус ЭУ, при снижении сопротивления изоляции сети, а также в случае прикосновения человека к корпусу установки или к фазному проводнику. Если при этом напряжение прикосновения превысит допустимое значение, то необходимо быстрое отключение ЭУ или соответствующего участка сети.

Область применения устройства защитного отключения (УЗО) практически ничем не ограничена, и устройство может применяться при любых напряжениях и с любым режимом нейтрали.

Преимущественно УЗО получило распространение в сетях до 1000 В с высокой степенью опасности, где применение защитного заземления и зануления затруднено по техническим причинам (плохо проводящий скальный грунт, большая стесненность оборудования и др.). УЗО используется в лабораторных установках, на испытательных стендах, в передвижных устройствах, в ручных переносных электрических машинах. Защитное отключение может быть применено как единственная защита и как основная мера защиты совместно с дополнительным защитным заземлением или защитным занулением.

По принципу действия выделяют следующие типы УЗО:

- прямого действия:
  - реагирующее на напряжение корпуса ЭУ –  $U_{\text{к}}$ ;
  - реагирующее на ток замыкания на корпус –  $I_{\text{к}}$ ;
- непрямого действия:
  - реагирующее на напряжение нулевой последовательности –  $U_0$ ;
  - реагирующее на ток нулевой последовательности –  $I_0$ ;
  - реагирующее на оперативный ток –  $I_{\text{оп}}$ .

Действие перечисленных типов УЗО следует рассмотреть самостоятельно.

## 2.5. Выбор и защита электрооборудования во взрывоопасных зонах

Электрическое оборудование (ЭО), которое устанавливается в помещениях с взрывоопасной средой и в котором возможно возникновение искр и электрических дуг (электрические машины, трансформаторы, выключатели, разъединители, пускорегулирующая аппаратура и др. устройства) должно выполняться во взрывозащищенном исполнении.

Взрывозащищенное электрооборудование согласно ГОСТ 12.2.020-76 подразделяется на температурные классы, уровни и виды взрывозащиты и группы применения.

Температура поверхности ЭО на всех режимах работы должна быть ниже на  $20\div 25^{\circ}\text{C}$  температуры самовоспламенения взрывоопасной среды в помещении. В зависимости от максимальной температуры поверхности, которая может соприкоснуться с внешней взрывоопасной средой, взрывозащищенное электрооборудование делится на шесть температурных классов:  $T_1 = 450^{\circ}\text{C}$ ,  $T_2 = 300$ ,  $T_3 = 200^{\circ}\text{C}$ ,  $T_4 = 135^{\circ}\text{C}$ ,  $T_5 = 100^{\circ}\text{C}$ ,  $T_6 = 85^{\circ}\text{C}$ .

Взрывозащищенное электрооборудование выпускается трех уровней взрывозащиты (табл. 3).

Таблица 3.

Условное обозначение уровней взрывозащиты

Уровни взрывозащиты	По ПИВРЭ*	По ГОСТ 12.2.020-79**
Повышенной надежности	Н	2
Взрывобезопасный	В	1
Особо взрывобезопасный	О	0

\*) ПИВРЭ – Правила изготовления взрывозащищенного рудничного электрооборудования.

\*\*) ГОСТ 12.2.020-79 ССБТ «Взрывозащищенное электрооборудование».

Электрооборудование (ЭО) повышенной надежности (Н; 2) против взрыва имеет защиту только в нормальном режиме работы, используется в местах, где опасная среда отсутствует, но может появиться кратковременно при авариях.

Взрывобезопасное ЭО (В; 1) применяется в местах, где взрывоопасная среда появляется при нормальном режиме работы и при авариях.

Особо взрывобезопасное ЭО (О; 0) используется в местах, где постоянно и длительно может присутствовать взрывоопасная среда.

При изготовлении взрывозащищенного электрооборудования применяются различные виды взрывозащиты (табл. 4).

Взрывонепроницаемая оболочка (В;  $d$ ) выдерживает давление взрыва и предотвращает распространение взрыва изнутри оболочки в окружающую взрывоопасную среду. Достигается за счет высокой механической прочности оболочки и наличия зазора в длинной узкой щели во фланцевом соединении. Величина зазора  $\delta$  (мм) устанавливается в зависимости от категории взрывоопасной смеси: категория 1 –  $\delta > 1$  мм; категория 2 –  $\delta = 0,65\div 1$  мм; категория 3 –  $\delta = 0,35\div 0,65$  мм; категория 4 –  $\delta < 0,35$  мм. Величина щелевого зазора в мар-



кировке:  $C - \delta < 0,35$  мм;  $B - \delta = 0,35 \div 0,65$  мм;  $A - \delta = 0,65 \div 1$  мм. Зазор необходим для снижения давления внутри оболочки, а также для того, чтобы выходящая из узкой щели смесь с пониженным давлением и температурой не смогла воспламенить окружающую взрывоопасную смесь. Чем меньше зазор, тем опаснее смесь.

Таблица 4.

Условное обозначение видов взрывозащиты

№ п/п	Виды взрывозащиты	По ПИВРЭ	По ГОСТ 12.2.020-79
1	Взрывонепроницаемая оболочка	В	<i>d</i>
2	Искробезопасная электрическая цепь	И	<i>i</i>
3	Вид защиты «е», повышенная надежность	Н	<i>e</i>
4	Масляное заполнение	М	<i>o</i>
5	Кварцевое заполнение	К	<i>p</i>
6	Продувка под избыточным весом	П	<i>q</i>
7	Специальный вид	С	<i>s</i>

Электрооборудование в искробезопасном исполнении (И; *i*) (ГОСТ 22.782.5-78) применяется главным образом в аппаратах управления, автоматике, сигнализации и связи с малыми напряжениями и токами с искрогасящими устройствами, предотвращающими воспламенение окружающей среды при возможных повреждениях (коротких замыканиях, ухудшении изоляции и др.).

Вид защиты «е» (Н; *e*) заключается в создании повышенной надежности ЭО против взрыва и в обеспечении безопасности при обслуживании. Повышенная надежность при эксплуатации обеспечивается за счет принятия особых мер, не допускающих коротких замыканий переходных сопротивлений, образование искр и имеют защиту от внешних воздействий не ниже *IP54*. Вид защиты «е» предусматривает наличие защит на отключение поврежденной установки (зануление, защитное отключение и др.).

В маслозаполненном взрывозащищенном ЭО (М; *o*) все части, находящиеся под напряжением, погружаются в электроизоляционное трансформаторное масло для исключения возможного соприкосновения между этими частями и взрывоопасной окружающей средой.

Кварцевое заполнение (К; *p*) оболочек электрооборудования применяется с аналогичными целями в аппаратах с большими токами и напряжениями, имеющими высокоциклическую нагрузку (выключатели, разъединители, отделители и др.) такие аппараты имеют электрические защиты на отключение.

Продувка под избыточным давлением (П; *q*) как правило осуществляется на электрических машинах большой мощности (более 300 кВт) подачей чистого атмосферного воздуха специальным вентилятором для предотвращения попадания взрывоопасной смеси внутрь корпуса электрической установки.

Специальный вид защиты (С; *s*) взрывозащищенного ЭО может осуществляться подачей в корпус установки инертного газа, заполнением песком или заливкой эпоксидной смолой, а также может выполняться по специально разработанной методике с учетом местных условий.

Взрывозащищенное оборудование по применению разделяется на две группы.

Группа I применяется в рудничном производстве для работ в подземных угольных шахтах.

Группа II применяется в наружных и внутренних установках во взрывоопасных зонах неzemных производств.

Таблица 5.

Примеры маркировки взрывозащищенного электрооборудования

Уровень взрывозащиты	Вид взрывозащиты	По ГОСТ 12.2.020-79**
Повышенной надежности	Вид защиты «е», Искробезопасная электрическая цепь	$2 E_x e i II C T_3$
Взрывобезопасный	Взрывонепроницаемая оболочка	$1 E_x d II B T_4$
Особо взрывобезопасный	Искробезопасная электрическая цепь	$0 E_x i II A T_5$

Пояснение маркировок.

Марка  $2 E_x e i II C T_3$ : 2 – уровень взрывозащиты – повышенной надежности;  $E_x$  – взрывозащитное оборудование;  $e$  – защита от коротких замыканий;  $i$  – искрогашение; II – наземная установка;  $C$  – щелевая защита, зазор  $\delta < 0,35$  мм;  $T_3$  – температурный класс 3 –  $t_{п}^{\max} = 200^{\circ}\text{C}$ .

Марка  $1 E_x d II B T_4$ : 1 – уровень взрывозащиты – взрывобезопасный;  $d$  – взрывонепроницаемая оболочка;  $B$  – щелевая защита  $\delta = 0,65$  мм;  $T_4$  – температурный класс 4 –  $t_{п}^{\max} = 135^{\circ}\text{C}$ .

Марка  $0 E_x i II A T_5$ : 0 – уровень особо взрывобезопасный;  $A$  – щелевая защита  $\delta = 1$  мм;  $T_5$  – температурный класс 5 –  $t_{п}^{\max} = 100^{\circ}\text{C}$ .

### 3. ГРУЗОПОДЪЕМНЫЕ КРАНЫ

Все погрузо-разгрузочные работы с грузами более 50 кг по горизонтали и при подъеме груза на высоту более 3м должны выполняться механизированным способом при помощи кранов, лебедок, талей и других механизмов.

Предельная норма переноса тяжестей по горизонтали на расстоянии до 50 м разрешается на одного человека:

- для подростков женского и мужского пола в возрасте от 16 до 18 лет – 10 и 16 кг соответственно;
- женщины и мужчины старше 18 лет соответственно не более 20 и 50 кг.

Проектирование, изготовление, монтаж и эксплуатация грузоподъемных кранов должны соответствовать действующим «Правилам устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов» – М.: ПИО ОБТ, 2001 г. и др. нормативным документам и ГОСТам, согласованным с Госгортехнадзором России.

Настоящие «Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов» распространяются на:

- грузоподъемные краны всех типов;
- грузовые электрические тележки на рельсовых путях с кабинами управления;
- крановые подъемники;
- электрические тали на монорельсах;
- грузозахватные органы: крюки, грейфы, электромагниты, клещи и др.;
- грузозахватные приспособления: стропы, траверсы, захваты и т.п.;
- грузовые тары, за исключением применяемых в металлургии, морских и речных портах.

Не распространяются на:

- грузоподъемные машины, установленные в шахтах, на морских и речных судах;
- экскаваторы с землеройным оборудованием или грейфером;
- краны манипуляторы или трубоукладчики;
- краны с навесным оборудованием: вибраторы, буровое оборудование;
- электрокары и автопогрузчики;
- монтажные полиспасты;
- ручные тали.

#### 3.1. Классификация кранов. Основные элементы конструкции, их отбраковка. Требования безопасности

Грузоподъемные краны классифицируются:

*по конструкции:*

1) Мостовой кран

Обладает максимальной грузоподъемностью, устойчивостью и надежностью в работе. Принципиальная схема мостового крана представлена на рис. 14.

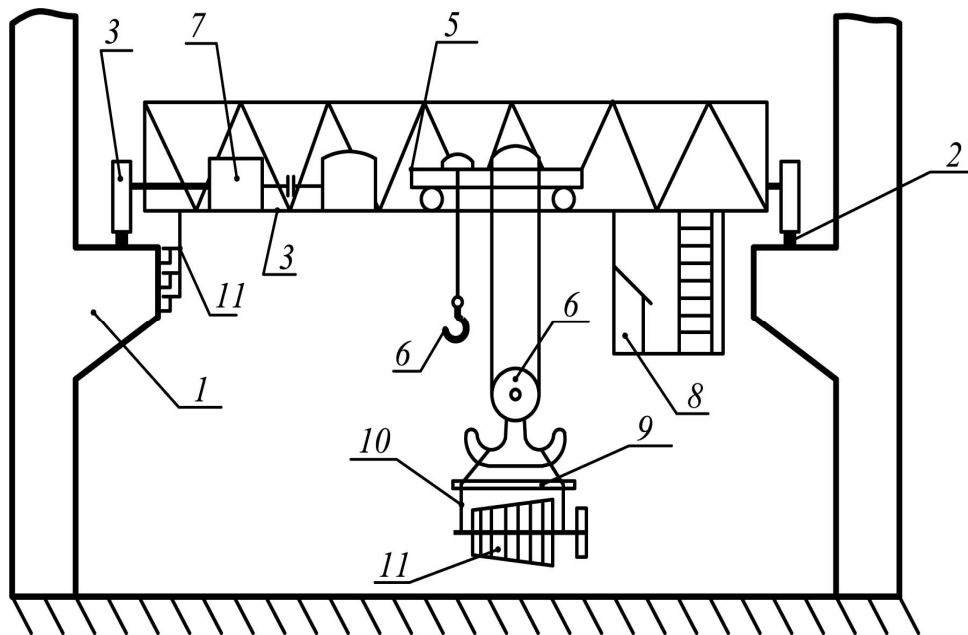


Рис. 14. Мостовой кран:

1 – строительные колонны; 2 – рельсы подкранового пути; 3 – ходовые колеса; 4 – мост крана; 5 – тележка грузовая; 6 – грузозахватные органы: большой крюк  $P = 100$  т, малый крюк  $P = 20$  т; 7 – электроприводы движений: моста крана, грузовой тележки, большого крюка, малого крюка; 8 – кабина управления краном; 9 – грузозахватное приспособление – траверса; 10 – стропы; 11 – поднимаемый груз – ротор турбины; 12 – троллеи электропитания

## 2) Кран козловой

Кран козловой – кран, у которого мост опирается на крановый путь при помощи двух опорных стоек.

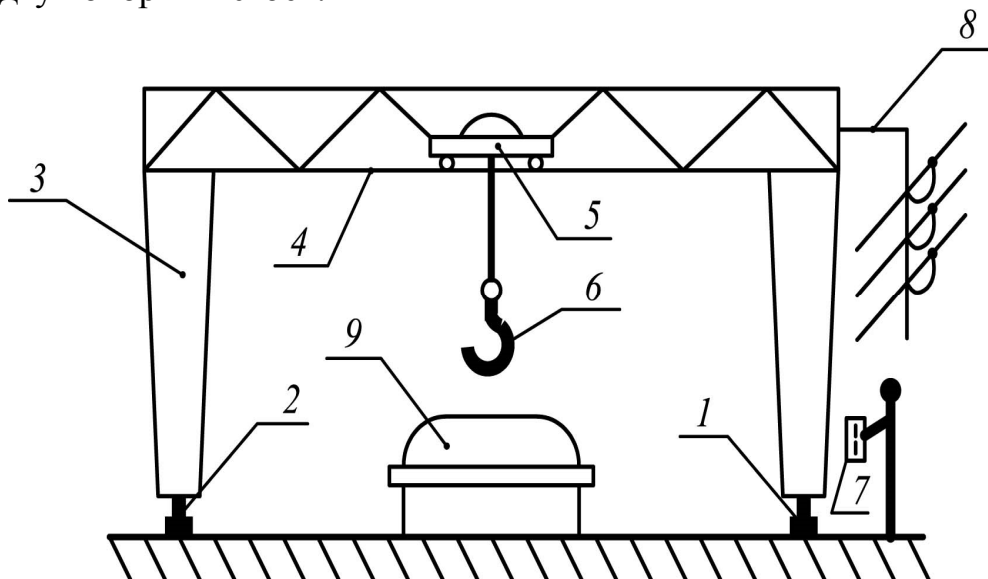


Рис. 15. Козловой кран:

1 – рельсы кранового пути; 2 – ходовые колеса; 3 – опорные стойки крана; 4 – мост козловой крана; 5 – грузовая тележка; 6 – грузозахватный орган – крюк; 7 – пульт управления; 8 – гибкий кабель электропитания

### 3) Кран стреловой

Кран, у которого грузовая стрела закреплена на поворотной платформе.

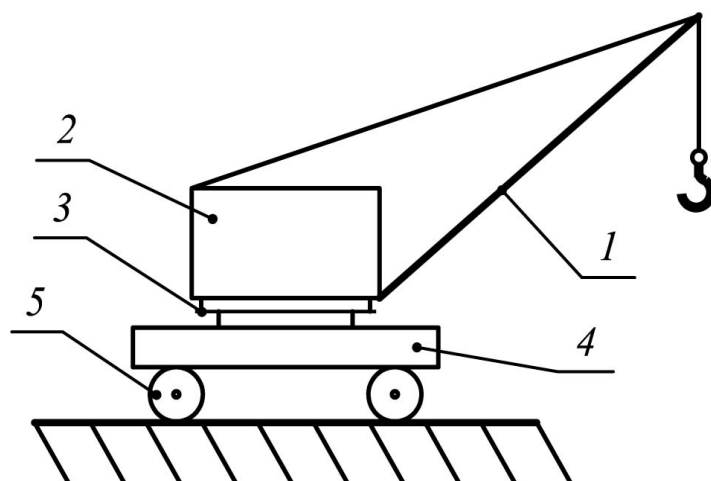


Рис. 16. Стреловой кран:

1 – стрела крана; 2 – кабина управления; 3 – поворотная платформа; 4 – опорная рама; 5 – ходовые устройства: автомобильные, гусеничные, тракторные

### 4) Кран башенный

Основной грузоподъемный механизм при строительстве и монтаже зданий и сооружений.

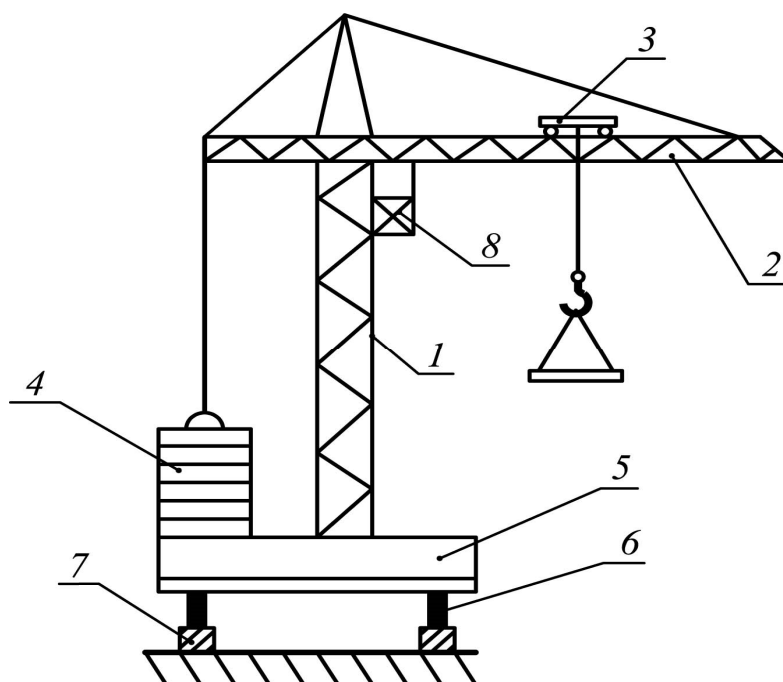


Рис. 17. Башенный кран:

1 – вертикальная башня крана; 2 – стрела крана; 3 – грузовая тележка; 4 – противовес; 5 – платформа; 6 – ходовые колеса; 7 – рельсы; 8 – кабина управления

### 5) Кран порталный

Портал предназначен для пропуска железнодорожного или автомобильного транспорта.

2) Кран железнодорожный

Устанавливается на платформе железнодорожного пути.

**По типу грузозахватного органа:**

- 1) Кран крюковой. Грузозахватный орган в виде одностороннего или двустороннего крюка.
- 2) Кран магнитный. Грузозахватный орган – электромагнит.
- 3) Кран литейный. Оборудован литейным ковшом.

**По типу приводов:**

- 3) Кран электрический. Выполнен с электрическим приводом.
- 4) Кран механический. Выполнен с механическим приводом.
- 5) Кран гидравлический. Выполнен с гидравлическим приводом.

**Основные элементы конструкции крана**

1) Канат – стальной трос, специально изготовленный, на котором подвешен грузозахватный орган – крюк.

2) Строп – стальной трос, служащий для строповки перемещаемого груза.

Браковка канатов и стропов осуществляется по числу обрывов проволок  $z$  на участке длиной  $l = 3d, 6d$  и  $30d$  ( $d$  – диаметр каната, стропа).

$Z = 4$ , если  $l = 3d$ ;

$z = 6$ , если  $l = 6d$ ;

$z = 16$ , если  $l = 30d$ .

3) Ходовые колеса

Ходовые колеса кранов бракуются в следующих случаях:

- при наличии трещин любых размеров;
- если выработка поверхности реборды до 50% от первоначальной толщины;
- если поверхность питания уменьшилась на 2% от первоначального диаметра;
- если разность диаметра колес, связанных между собой кинематически, более 0,5%.

6) Крановый путь

Бракуется при наличии следующих дефектов и повреждений:

- трещин и сколов любых размеров;
- износа головки рельса более 15% от неизношенного профиля;
- взаимное смещение торцов стыкуемых рельсов более 2 мм;
- зазор между торцами рельс  $S$  более 6 мм при температуре наружного воздуха  $t_{\text{нв}} = 0^{\circ}\text{C}$ . При изменении температуры  $t_{\text{нв}}$  на  $\Delta t = \pm 10^{\circ}\text{C}$  зазор между торцами рельс должен изменяться (увеличиваться или уменьшаться на величину  $\Delta S = \pm 1,5$  мм) соответственно.

7) Грузозахватные органы – крюки

- грузовые крюки изготавливаются ковкой или штамповкой и должны соответствовать государственным стандартам;
- однорогие крюки должны иметь предохранительные замки от соскальзывания стропа;
- все крюки грузоподъемностью выше 3т устанавливаются на подшипниках качения и должны иметь стопорные планки от самопроизвольного свинчивания гаек крепления крюка;
- все грузовые крюки должны иметь паспорт завода-изготовителя с указанием материала, из которого он изготовлен;
- все крюки должны иметь маркировку с нанесением заводского номера и грузоподъемности.

### ***Требования безопасности***

- грузоподъемные краны должны быть снабжены звуковыми сигнальными устройствами;
- должно быть обеспечено затормаживание груза при внезапном обесточивании крана или обрыве фазного проводника питающей сети;
- должна быть выполнена защита для снятия напряжения с крана при выходе крановщика (персонала) на галерею моста крана;
- все двери мостовых кранов должны иметь блокировку;
- мостовые краны и другие, работающие на открытом воздухе, должны быть оборудованы противоугонными механическими устройствами – рельсовыми захватами;
- мостовые краны должны быть снабжены упругими демпферными (пружинными) устройствами для смягчения удара об упоры в конце пути;
- мостовые и другие краны должны быть оснащены опорными штырями на случай поломки колес и проседания вниз моста крана на расстояние 20 мм от рельса;
- каждый кран должен быть оборудован (оснащен) аварийным выходом крановщика с крана:
  - либо через галерею на подкрановый путь, имеющий поручни;
  - либо при помощи ручного механизма перемещения моста крана до посадочной площадки;
  - либо при помощи лестницы аварийного схода;
  - у магнитных кранов при снятии напряжения с крана по условиям безопасности напряжение с грузового электромагнита не снимается;
- все краны должны быть оснащены устройствами безопасности. К ним относятся:
  - ограничители рабочего движения (конечные выключатели) механизма подъема, передвижения тележки и моста;
  - защиты, отключающие кран в аварийных режимах (перегрузках, коротких замыканиях, при обрывах фазных проводников);
- все краны должны иметь защитное заземление.

### 3.2. Механизм подъема груза. Электрическая схема управления

#### *Механизм подъема груза*

Механизм подъема груза является основным рабочим механизмом мостового крана, предназначенным для перемещения груза в вертикальном направлении (подъем и спуск). Опускание груза производится также принудительно, включением двигателя. Кинематическая схема механизма подъема мостового крана приведена на рис. 18.

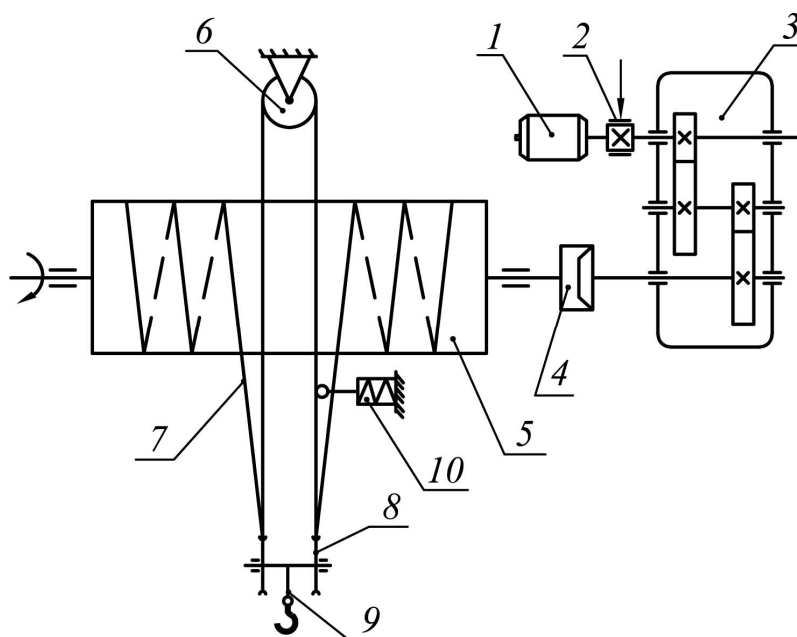


Рис. 18. Кинематическая схема механизма подъема мостового крана:  
1 – электродвигатель; 2 – упругая муфта-шкив тормоза; 3 – редуктор; 4 – зубчатая муфта сцепления; 5 – барабан; 6 – уравнильный блок; 7 – канат грузовой; 8 – крюковая подвеска;  
9 – крюк; 10 – ограничитель груза

При включении двигателя 1 (см. рис. 18) крутящий момент с его вала через упругую муфту сцепления 2 передается на входной вал редуктора 3. одновременно муфта 2 исполняет роль шкива электромагнитного тормоза. Увеличенный крутящий момент с выходного вала редуктора 3 через зубчатую муфту сцепления 4 передается на вал-барабан 5. На вращающийся барабан навивается канат 7, что вызывает изменение высоты крюковой подвески 8 и крюка 9. Ограничитель груза 10 служит для отключения приводного двигателя 1, если масса поднимаемого груза превысит паспортную грузоподъемность на 25%.

#### *Электрическая схема управления и характеристика двигателя с фазным ротором*

В механизмах подъема груза на мостовых кранах большое распространение получили асинхронные двигатели с фазным ротором, позволяющим изменять скорость движения груза в широких пределах и обеспечивать надежное торможение. Это достигается введением в цепь ротора пускорегулирующего



реостата с дополнительными сопротивлениями  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , как это показано на рис. 19.

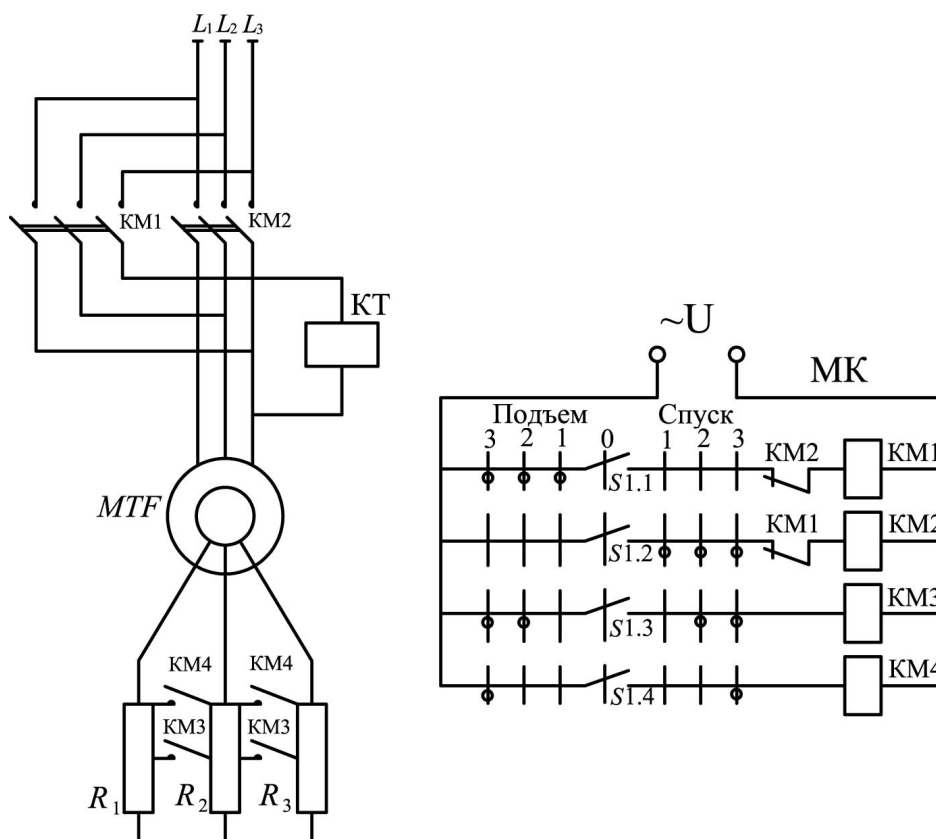


Рис. 19. Схема управления асинхронным двигателем с фазным ротором: МК – магнитный контроллер; КМ2, КМ1 – контакт, катушка, контактор цепи подъема груза; КМ1, КМ2 – то же цепи спуска груза; S1.1 ÷ S1.4 – замыкающие контакты контроллера; MTF – асинхронный двигатель с фазным ротором; КТ – катушка тормозного электромагнита;  $R_{1,2,3}$  – сопротивления пускорегулирующего реостата; КМ3, КМ4 – катушки и контакты реостата

Схема управления с помощью магнитного контроллера МК работает следующим образом.

В первом положении – 1 контроллера МК на «подъем» замыкается контакт S1.1 и включается катушка КМ1. Контактор КМ1 включает статор двигателя MTF и катушку тормозного электромагнита КТ в сеть. В цепь двигателя включены все сопротивления  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  пускорегулирующего реостата, и двигатель работает на искусственной характеристике I с частотой вращения  $n_1$  при заданном моменте сопротивления  $M_c$ , как это следует из рис. 20, на котором представлены механические характеристики асинхронного двигателя с фазным ротором.

Во втором положении – 2 контроллера МК на «подъем» замыкается контакт S1.3 контроллера МК и включается катушка КМ3, которая выводит часть сопротивления  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  пускорегулирующего реостата из цепи ротора. Двигатель будет работать на искусственной характеристике II с частотой вращения  $n_{II}$ , преодолевая заданный момент сопротивления  $M_c$ , создаваемый грузом.

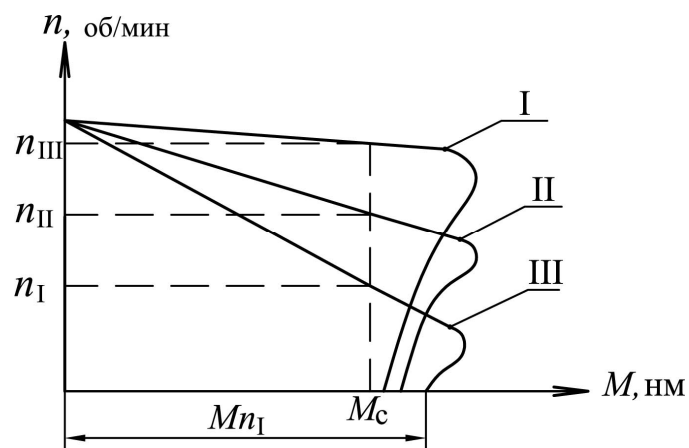


Рис. 20. Механические характеристики асинхронного двигателя с фазным ротором: I – II – искусственные характеристики реостатного регулирования; III – естественная характеристика;  $n$ ,  $M$  – частота вращения, момент на валу двигателя;  $M_c$  – заданный момент сопротивления;  $Mn_I$  – пусковой момент двигателя

В третьем положении – 3 контроллера МК на «подъеме» включается катушка КМ4 и контактор КМ4, который полностью выводит сопротивления  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  и закорачивает обмотку ротора двигателя. Двигатель работает на естественной характеристике III с частотой вращения  $n_{III}$ .

### 3.3. Тормоза грузоподъемных кранов. Электрoзащитные устройства. Надзор и обслуживание

#### *Тормоза грузоподъемных кранов*

На всех кранах механизмы подъема груза снабжаются тормозами. У кранов, транспортирующих расплавленный металл, ядовитые или взрывоопасные вещества, механизмы подъема оборудованы двумя независимыми тормозами. Тормоза на механизмах передвижения моста и тележки устанавливаются только у кранов, работающих на открытом воздухе, а также у кранов, движущихся со скоростью более 32 м/мин.

На мостовых кранах в качестве тормоза механизма подъема применяются колодочные или дискоколодочные тормоза. В колодочных тормозах тормозные колодки прижимаются к наружной поверхности тормозного шкива, насаженного и закрепленного на полумуфте входного вала редуктора, имеющей наименьший крутящий момент. В дискоколодочных тормозах тормозные колодки выполнены плоскими и прижимаются к торцевым поверхностям диска, прочно сидящего на вале редуктора. Колодки тормозов прижимаются к тормозному шкиву или диску, когда приводной двигатель и электромагнит тормоза отключены от сети. Усилие прижатия создается либо пружиной, в случае применения пружинного электромагнитного тормоза, либо положением груза на рычаге при использовании рычажного электромагнитного тормоза. Таким образом, тормоз механизма подъема удерживает груз, когда контакты магнитного контроллера находятся в нулевом положении (см. рис. 19). При этом превышение тормозного момента  $M_T$  на шкиве или диске по сравнению с крутящим моментом  $M_{кр}$ , со-

здаваемым приводным двигателем, называется коэффициентом запаса торможения, который должен быть равным не менее 1,5, то есть  $K_T = \frac{M_T}{M_{кр}} \geq 1,5$ .

На рис. 21 представлен общий вид колодочного электромагнитного тормоза с пружинным (а) и рычажным (б) приводами.

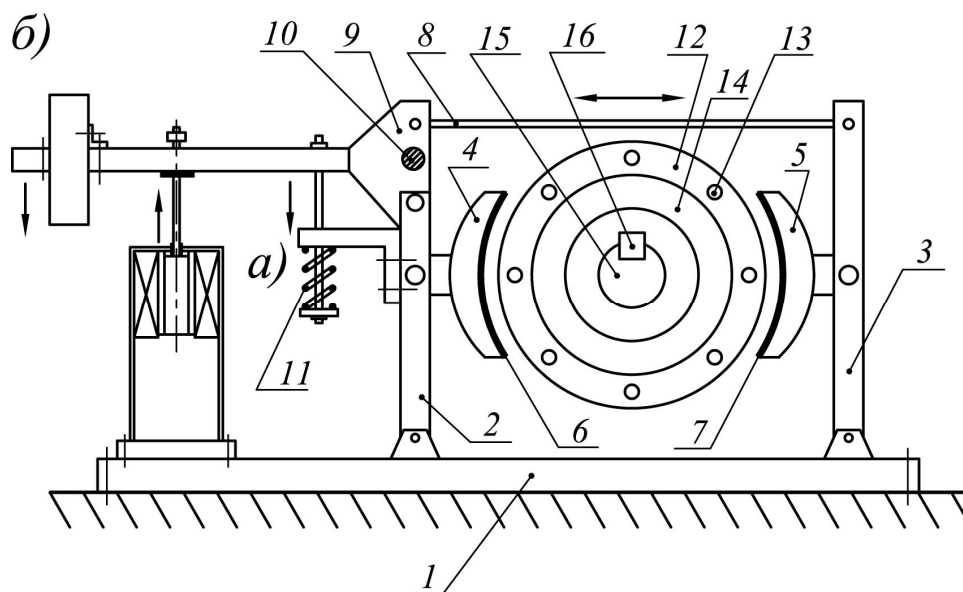


Рис. 21. Колодочный электромагнитный тормоз с пружинным а) и рычажным б) приводами:

1 – плита тормоза; 2, 3 – вертикальные рычаги; 4, 5 – тормозные колодки; 6, 7 – фрикционные накладки; 8 – шток; 9 – силовой рычаг; 10 – неподвижная ось; 11 – пружина; 12 – тормозной шкив; 13 – болты крепления; 14 – полумуфта соединительная; 15 – входной вал редуктора; 16 – шпонка

Тормоз состоит из плиты 1, которая крепится к мосту крана. С плитой шарнирно соединяются вертикальные рычаги 2 и 3, к которым также шарнирно закрепляются тормозные колодки 4 и 5 с прикрепленными к ним фрикционными накладками 6 и 7. Верхний конец вертикального рычага 3 при помощи штока 8 соединен с силовым рычагом 9, к которому также шарнирно подсоединен вертикальный рычаг 2.

Вращаясь вокруг неподвижной оси 10, силовой рычаг 9 при помощи пружины 11 или груза в тормозах с пружинным а) или рычажным б) способами торможения соответственно перемещает колодки 4 и 5 во взаимно противоположные стороны и зажимает таким образом тормозной шкив 12. Шкив насаживается и крепится болтами 13 к соединительной полумуфте 14 входного вала редуктора 15. Полумуфта удерживается от проворота на валу редуктора шпонкой 16.

### ***Электрозащитные устройства***

Грузоподъемные краны относятся к оборудованию с повышенной опасностью. «Правила устройства электроустановок» требуют введения в систему управления краном защитных устройств.

К ним относятся:

- защита от перегрузок электродвигателей;
- защита от коротких замыканий;
- нулевая защита от исчезновения и внезапной подачи напряжения;
- защита от перехода крайних положений;
- защита от поражения электрическим током обслуживающего персонала.

*Защита от перегрузок.* Перегрузка электрических приводов возникает либо при неисправностях в механизмах (заклинивание в редукторах, неправильное регулирование тормозов), либо при подъеме груза, вес которого больше предельно допустимого. Защита от перегрузок осуществляется установкой реле максимального тока (Например,  $I^{\max} = 50 \div 100$  А). Тепловая защита при перегрузках на кранах не применяется, так как крановые электродвигатели рассчитаны на повторно-кратковременный режим и на значительные перегрузки до 200%, при которых возможны ложные срабатывания тепловых реле.

*Защита от коротких замыканий* в цепях крана  $U = 380$  В осуществляется автоматическими выключателями, имеющими дугогасящие устройства, которые предохраняют контакты от обгорания при размыкании больших токов.

*Нулевая защита* на кранах необходима для предотвращения произвольного запуска любого двигателя при внезапной подаче напряжения после его исчезновения. Для этой цели используется реле напряжения, замыкающие контакты которого находятся в цепи линейного контактора. Напряжение на него подается лишь при нулевом положении всех контроллеров.

*Защита от перехода крайних положений* грузозахватного органа (крюка), грузовой тележки и моста крана осуществляется с помощью конечных выключателей.

### ***Надзор и обслуживание***

Руководители организаций и индивидуальные предприниматели (владельцы кранов) обязаны обеспечить содержание их в исправном состоянии и безопасность условий работы путем организации технического освидетельствования, осмотра, ремонта, надзора и обслуживания. Для этих целей, согласно ПУЭ, руководитель организации назначает трех инженерно-технических работников:

- ответственного по надзору за безопасной эксплуатацией грузоподъемных кранов;
- ответственного за содержание кранов в исправном состоянии;
- ответственного за безопасное производство работ.

Обязанности ответственных служащих устанавливаются в должностных инструкциях. Периодическая проверка знаний ответственных инженерно-

технических работников должна проводиться специальной комиссией с участием инспектора Госгортехнадзора не реже одного раза в 3 года.

Для управления кранами и их обслуживания владелец обязан назначить крановщиков, слесарей по ремонту и электромонтеров, а также назначить стропальщиков для зацепки (обвязки) грузов. Проверка знаний обслуживающего персонала должна проводиться квалификационной комиссией предприятия не реже одного раза в 12 месяцев.

### 3.4. Защитное заземление мостового крана. Регистрация. Техническое освидетельствование

#### Защитное заземление мостового крана

Принципиальная схема защитного заземления мостового крана показана на рис. 22.

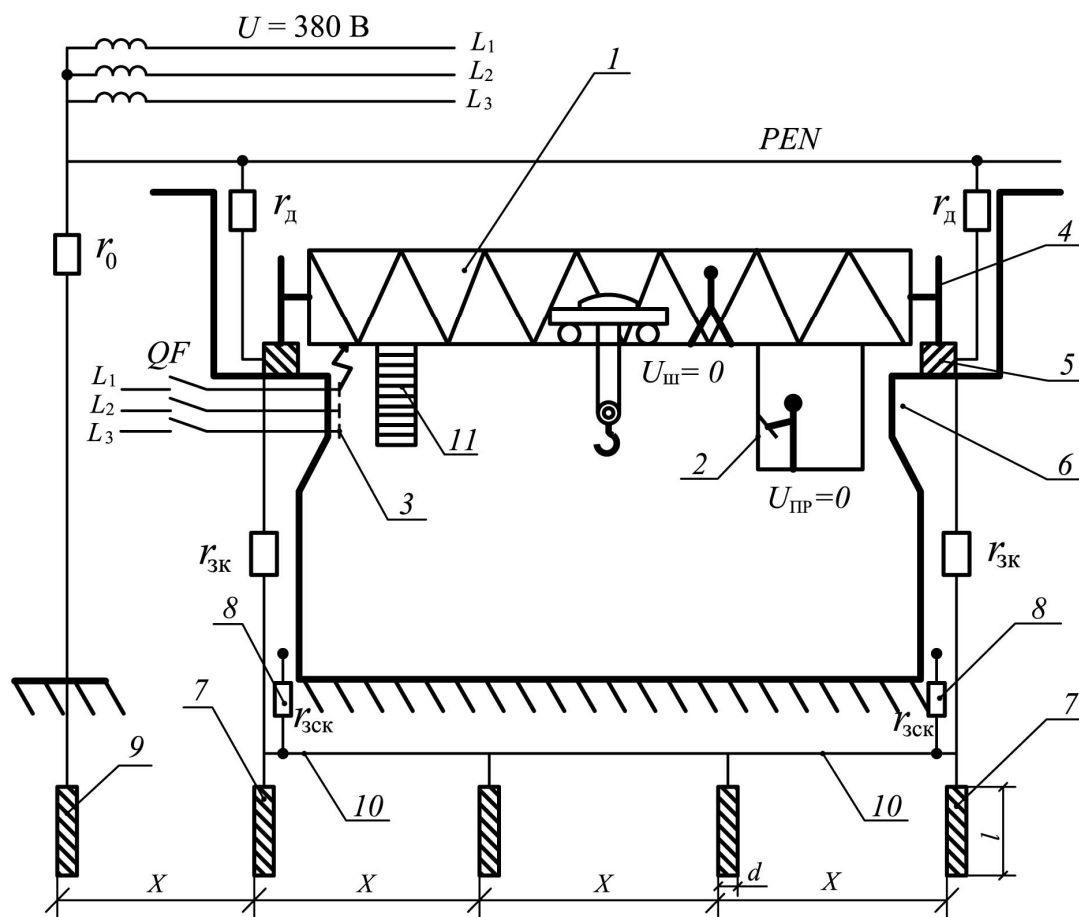


Рис. 22. Схема защитного заземления мостового крана:

1 – мост крана; 2 – кабина машиниста; 3 – токоподводящие троллеи; 4 – ходовые колеса; 5 – подкрановый путь; 6 – строительные колонны; 7 – заземлители мостового крана; 8 – заземлители строительных конструкций; 9 – заземлитель нейтрали трансформатора; 10 – заземляющие проводники; 11 – ремонтная площадка;  $r_{ЗК}$  – сопротивление заземления мостового крана;  $r_{ЗСК}$  – сопротивление заземления строительных конструкций;  $r_0$  – сопротивление заземления нейтрали трансформатора;  $r_Д$  – сопротивление заземления дополнительного соединения;  $QF$  – вводной рубильник

Все мостовые краны должны быть заземлены. Заземление выполняется для защиты людей от поражения электрическим током в случае прикосновения к металлическим частям крана, оказавшимся под напряжением в результате повреждения изоляции и замыканий фазового проводника на корпус ЭУ. В этом случае возникает разность потенциалов между корпусом ЭУ и мостом крана равная фазному напряжению  $U_{\text{пр}} = U_{\text{ф}} = 220 \text{ В}$ . В результате прикосновения к такому корпусу может возникнуть ток смертельной величины ( $I_h \geq 100 \text{ мА}$ ). Обязательному заземлению подлежат крановые металлические конструкции, корпуса электродвигателей, кабелей, вся аппаратура, находящаяся в кабине машиниста (крановщика). Заземление осуществляется надежным электрическим соединением с металлоконструкцией крана, которую, в свою очередь, заземляют через крановый путь. Заземление крановых путей выполняют с обоих концов каждого пути соединением с основным контуром заземления строительной конструкции здания. Кроме того, крановые рельсы присоединяют к нулевому защитному проводнику *РЕ* или *PEN*.

Состояние цепи заземления контролируют одновременно с выполнением ремонтных работ, но не реже 1-го раза в год в периоды наименьшей проводимости: 1 раз летом при наибольшем просыхании почвы, 1 раз зимой при наибольшем промерзании почвы. Дополнительное заземление подкрановых путей с сопротивлением  $r_d$  (см. рис. 22) способствует снижению потенциала на мосту крана в случае замыкания фазных проводников и повышает надежность защиты при нарушении целостности основной цепи защитного заземления.

Напряжения шага и напряжения прикосновения при эффективной работе защитного заземления на мостовом кране будут всегда иметь нулевые значения, то есть  $U_{\text{ш}} = 0$ ,  $U_{\text{пр}} = 0$  (см. рис. 22).

### ***Регистрация. Техническое освидетельствование***

Все грузоподъемные краны, на которые распространяются настоящие «Правила», подлежат регистрации в местных органах Госгортехнадзора (Ростехнадзора). Регистрация проводится по письменному заявлению владельца и паспорту крана. В заявлении должно быть указано наличие у владельца крана ответственных специалистов, прошедших проверку знаний настоящих «Правил», и обученного персонала для обслуживания крана, а также приведены результаты технического освидетельствования.

Краны, подлежащие регистрации в органах Ростехнадзора, подвергаются техническому освидетельствованию (испытанию и осмотру) до их регистрации.

Кроме того, в течение срока службы краны подвергаются:

- частичному техническому освидетельствованию не реже одного раза в 12 месяцев;
- полному техническому освидетельствованию не реже одного раза в 3 года.

Краны, редко используемые (электростанции, химическое и др. производство) подвергаются полным техническим испытаниям один раз в 5 лет.

Технические освидетельствования проводятся ответственными лицами по надзору за безопасной эксплуатацией кранов при участии работника, ответственного за содержание кранов в исправном состоянии.

При полном техническом освидетельствовании проводится:

- осмотр механизмов, тормозов, электрооборудования, устройств безопасности;
- статическое испытание крана;
- динамическое испытание крана.

Кроме того, при полном техническом освидетельствовании проверяются:

- состояние металлоконструкции крана, его сварных (клепаных) соединений (отсутствие трещин, ослаблений);
- состояние крюка (отсутствие трещин в нарезной части кованных крюков);
- состояние кранового пути;
- состояние канатов и их креплений;
- состояние освещения и сигнализации.

При частичном испытании проводится только осмотр всего оборудования.

Статическое испытание проводится нагрузкой, которая на 25% превышает паспортную грузоподъемность. Кран устанавливается в пролете между опорными строительными колоннами, а его тележка – в середине моста. Груз поднимается на высоту 200÷300 мм и выдерживается 10 минут. При этом специальным отвесом измеряется прогиб моста крана и определяется отсутствие остаточной деформации после опускания груза. При обнаружении остаточной деформации кран не допускается к работе до выяснения причин.

Динамическое испытание проводится грузом, который на 10% превышает паспортную грузоподъемность крана. При этом проверяется действие всех механизмов и тормозов подъемом, опусканием и перемещением груза не менее трех раз.

## 4. ЭНЕРГИЯ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

### 4.1. Использование энергии в химической технологии

Химическое производство относится к наиболее энергоемким отраслям промышленности. Если доля затрат на энергию в промышленной продукции в целом (в СССР) составляла 2,5%, то в продукции нефтехимической отрасли она достигала 8,9%.

В результате химическая отрасль производила в созидательный период около 6% всей промышленной продукции, а потребляла около 12% всей вырабатываемой в СССР электроэнергии. Эта высокая энергоемкость обусловлена большим потреблением энергии на производство аммиака, фосфора, карбида кальция, карбоната натрия, химических волокон и пластмасс, которое составляет более 60% электрической и 50% тепловой энергии всей отрасли.

В химическом производстве электрическая энергия применяется для проведения электрохимических, электромагнитных процессов, а также для перемещения различных веществ при помощи компрессорных и насосных установок.

Тепловая энергия используется для различных целей. Энергия высокого потенциала (более 1000°K) применяется при высокотемпературной обработке сырья (пиролиз природного газа, обжиг и др.) и интенсификации химических реакций. Тепловая энергия среднего (373 – 623°K) потенциала используется в процессах, связанных с изменением физических свойств материалов (нагрев, плавление, дистилляция, выпаривание). В аппаратах теплообмена в качестве теплоносителей применяются горячий воздух, горячая вода, насыщенный и перегретый пар.

Источниками электрической энергии для всех отраслей промышленности являются тепловые, гидравлические и атомные электрические станции. Суммарная мощность единой энергетической системы в СССР достигала более 350 млн кВт (350 ГВт). В настоящий период установленная мощность всех электрических станций в Российской Федерации составляет около 140 млн кВт (140 ГВт).

Подвод электрической энергии, например на НХЗ ОАО «Сибур-Нефтехим» в г. Кстово, осуществляется по двум вводам: из энергосистемы и Ново-Горьковской ТЭЦ напряжением  $U = 110$  кВ через силовые трансформаторы суммарной мощностью  $N_{эл} = 32000$  кВт. Источниками тепловой энергии на НПЗ и НХЗ служат теплоэнергетические установки энергоблоков: парогенераторы, котлы-утилизаторы, редуционно-охладительные устройства, преобразующие энергию органического топлива в тепловую энергию в виде пара, горячей воды, конденсата и далее в механическую работу в турбинных приводах компрессорных и насосных агрегатах.

В химической промышленности энергетика непосредственно участвует в процессе производства продукции, и нарушение нормального энергоснабжения вызывает прекращение деятельности отдельных производственных звеньев или даже предприятия в целом. Энергетическое оборудование (парогенераторы,



котлы-утилизаторы, паровые и газовые турбины, насосы и компрессоры, теплообменные аппараты, холодильные установки и трансформаторы) входят в прямое соединение с химико-технологическим оборудованием и составляют единую энергохимикотехнологическую систему (ЭХТС).

В такой системе (ЭХТС) всякому изменению параметров химической технологии должны сопутствовать и соответствующие изменения энергетических параметров и наоборот. Таким образом, в ЭХТС создается тесная взаимосвязь между технологическими и энергетическими стадиями производства. При этом особое значение на НХЗ и НПЗ имеют вопросы надежности и бесперебойности в работе всего оборудования производственного цикла.

Но главной задачей на предприятиях НХЗ и НПЗ является создание и обеспечение безопасных и безвредных условий для персонала при обслуживании взрывоопасного и токсичного оборудования на всех стадиях и режимах его работы.

#### **4.2. Тепловая схема энергоблока. Парогенератор. Теплообмен в элементах парогенератора. Требования безопасности**

На рис. 23 представлена тепловая схема энергоблока НХЗ ОАО «Сибур-Нефтехим».

Основным источником тепловой энергии энергоблока является парогенератор, в котором вырабатывается пар высокого давления с параметрами  $P = 12$  МПа и  $t = 535^{\circ}\text{C}$  в количестве  $G = 100$  т/ч. Часть пара поступает в цилиндр турбины высокого давления 3, другая часть – на редукционно-охладительную установку 18 и на производство пиролиза газа 20.

Отработанный в турбине пар поступает в конденсатор 4, в трубках которого циркулирует охлаждающая вода из градирни 10 под действием циркуляционного насоса 9. Конденсат из конденсатора 4 насосом 5 направляется в деаэратор 6. В деаэраторе конденсат нагревается отборным из турбины паром 21 до состояния кипения ( $t = 160^{\circ}\text{C}$ ). Процесс кипения сопровождается выделением из конденсата газов  $\text{CO}$  и  $\text{O}_2$ , вызывающих коррозию металла, и отводом их в атмосферу 23.

Освобожденная от агрессивных газов питательная вода из деаэратора 6 подается насосом 7 в подогреватель высокого давления 8 для последующего нагрева до  $t = 200^{\circ}\text{C}$ , после чего питательная вода поступает в парогенератор 1. Тепловой цикл с турбоустановками среднего 14 и низкого 15 давлений совершается аналогично.

Использование паровых турбин высокого, среднего и низкого давлений в качестве приводов центробежных компрессоров 16 и регенеративных подогревателей питательной воды повышает экономичность цикла за счет возврата части затраченной энергии сжигаемого в парогенераторе топлива.

Парогенератор в тепловой схеме энергоблока – это котел с естественной циркуляцией, предназначенный для выработки пара с давлением  $P_0 = 12$  МПа и температурой  $t_0 = 540^{\circ}\text{C}$  в количестве  $G = 100$  т/ч.

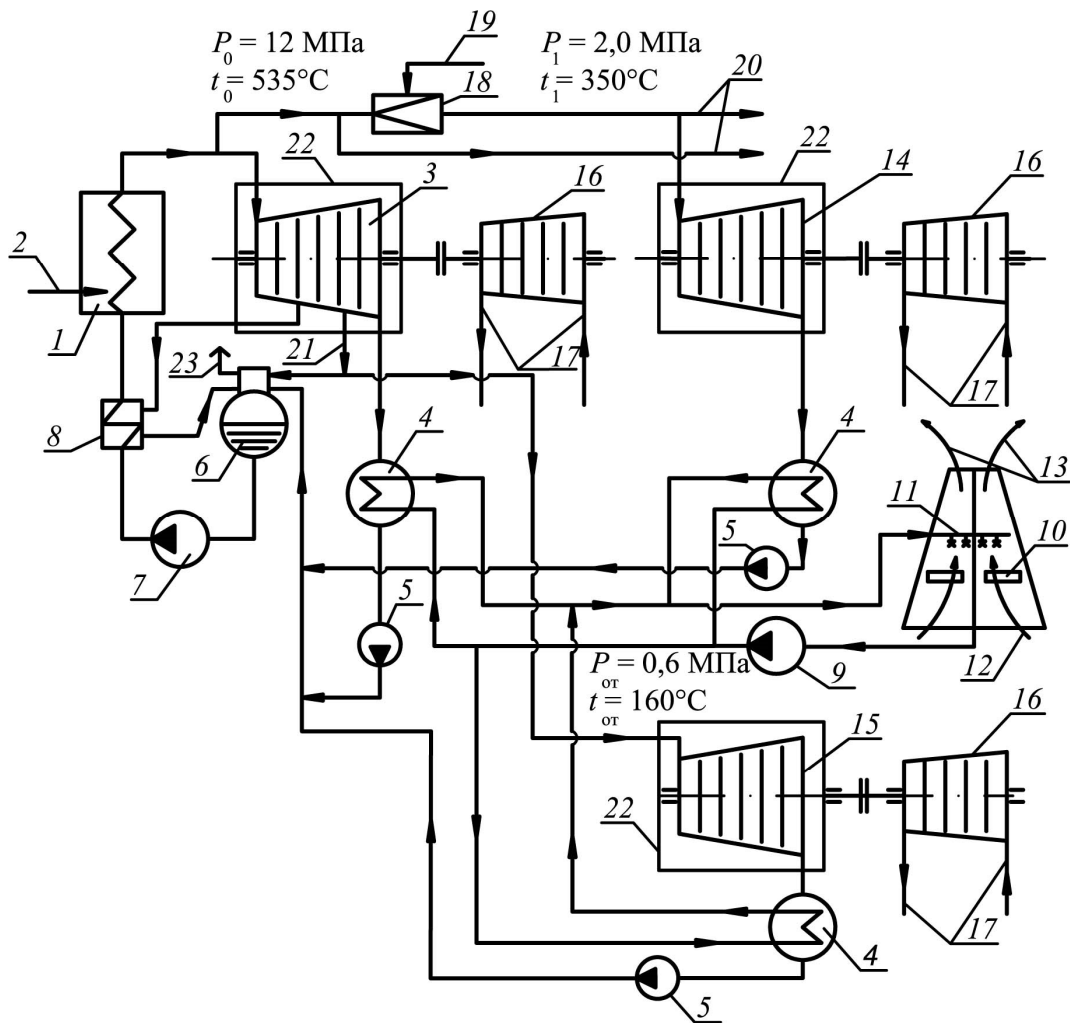


Рис. 23. Тепловая схема энергоблока Нижегородского химического завода:  
 1 – парогенератор – котел высокого давления  $P_0 = 12$  МПа,  $t_0 = 535^\circ\text{C}$ ,  $G = 100$  т/ч; 2 – подача топлива (газ, мазут); 3 – турбина высокого давления  $P_0 = 12$  МПа; 4 – конденсаторы; 5 – конденсатные насосы; 6 – деаэрактор питательной воды; 7 – питательный насос  $P_n = 14$  МПа,  $t_{\text{пв}} = 160^\circ\text{C}$ ; 8 – подогреватель высокого давления (ПВД); 9 – циркуляционный насос; 10 – градирня; 11 – распылители циркуляционной воды; 12 – вход атмосферного воздуха; 13 – выход водовоздушной смеси; 14 – турбина среднего давления  $P_1 = 2,0$  МПа,  $t_1 = 160^\circ\text{C}$ ; 15 – турбина низкого давления; 16 – центробежные компрессоры; 17 – газы пиролиза; 18 – редукционно-охлаждающая установка РОУ 120/20; 19 – впрыск питательной воды; 20 – пар в технологию пиролиза газа; 21 – отбор пара  $P_{\text{от}} = 0,6$  МПа,  $t_{\text{от}} = 160^\circ\text{C}$ ; 22 – защитный бокс турбин; 23 – отвод в атмосферу агрессивных газов  $\text{CO}$  и  $\text{O}_2$

В качестве теплоносителя используется вода, основным преимуществом которой является высокая теплоемкость  $C_T = 4,19 \cdot 10^3$  Дж/кг·К и соответственно перенос большого количества тепла. Основным недостатком использования воды в качестве теплоносителя является необходимость химической обработки и очистки от солей жесткости и растворенных в ней агрессивных газов.

Принципиальная схема парогенератора с естественной циркуляцией изображена на рис. 24.

Котловая вода из химического цеха после обработки и очистки ее от солей временной и постоянной жесткости поступает в деаэрактор для удаления агрес-

сивных газов  $\text{CO}$  и  $\text{O}_2$ , после чего питательным насосом 8 (см. рис. 24) подается через подогреватель высокого давления 7 в экономайзер 5, расположенный в газоходе пароперегревателя. В экономайзере 5 питательная вода подогревается до температуры, близкой к насыщению, при давлении  $P = 14$  МПа и поступает в барабан котла 3. Далее вода попадает в кипяtilьные трубы 2, размещенные в топке. В кипяtilьных трубах 2 происходит естественная многократная циркуляция воды и пароводяной смеси за счет разности их плотностей в опускных и подъемных трубах. В барабане котла 3 осуществляется сепарация пароводяной смеси: жидкость поступает в опускные трубы, а насыщенный пар – в пароперегреватель 4, и далее с параметрами  $P_0 = 12$  МПа и  $t_0 = 535^\circ\text{C}$  подается в турбину высокого давления в технологию пиролиза газа на редуционно-охладительную установку РОУ 120/20. Атмосферный воздух с помощью дутьевого вентилятора 11 подается в регенеративный воздухоподогреватель 6, где он подогревается отходящими из котла газами и поступает далее либо в горелку 15 для сжигания газа, либо в форсунку для сжигания мазута.

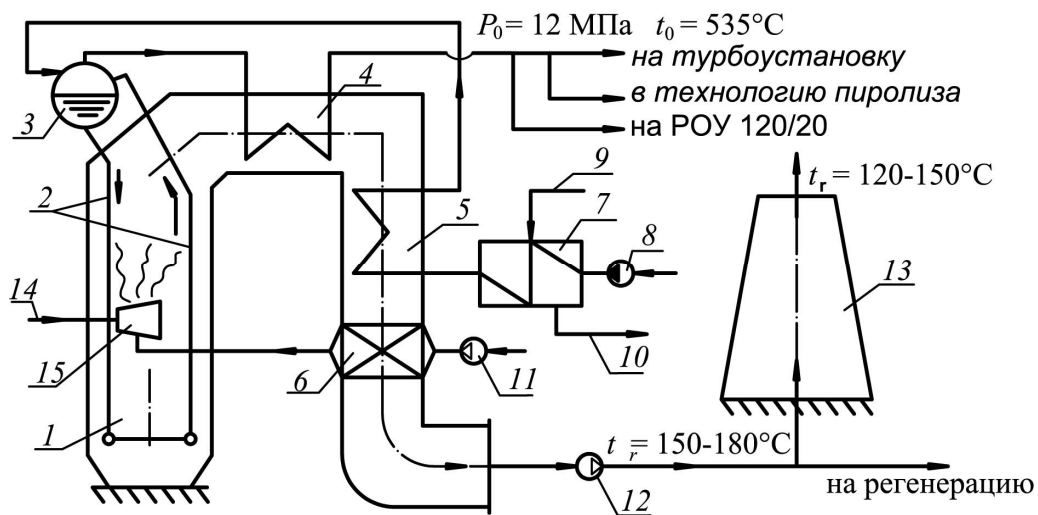


Рис. 24. Принципиальная схема парогенератора с естественной циркуляцией:  
 1 – топка парогенератора; 2 – кипяtilьные трубы естественной циркуляции; 3 – барабан котла; 4 – пароперегреватель; 5 – экономайзер; 6 – регенеративный воздухоподогреватель; 7 – подогреватель высокого давления (ПВД); 8 – питательный насос; 9 – отбор пара из турбины; 10 – конденсат в деаэратор; 11 – дутьевой вентилятор; 12 – дымосос; 13 – дымовая труба;  
 14 – подвод топлива; 15 – горелка (форсунка)

Продукты сгорания (отходящие газы) из котла при помощи дымососа 12 через дымовую трубу 13 выходят в атмосферу. Часть газов с температурой  $t_r = 150 \div 180^\circ\text{C}$  направляется на регенерацию пиролиза газа.

Интенсивность теплообмена во всех элементах парогенератора определяется коэффициентом теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{\delta_H}{\lambda_H} + \frac{1}{\alpha_2}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}, \quad (31)$$

где  $\alpha_1, \alpha_2$  – коэффициенты теплоотдачи от газа (пламя) в топке к стенке трубы и от стенки к теплоносителю,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ ;  $\delta_3, \lambda_3$  – толщина и теплопроводность загрязнений: золы и сажи со стороны газа в топке, м,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ ;  $\delta_{\text{ст}}, \lambda_{\text{ст}}$  – толщина и теплопроводность металлической стенки трубы, м,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ ;  $\delta_{\text{н}}, \lambda_{\text{н}}$  – толщина и теплопроводность накипи на внутренней поверхности трубы (соли жесткости), м,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ .

Схема теплообмена в трубке изображена на рис. 25.

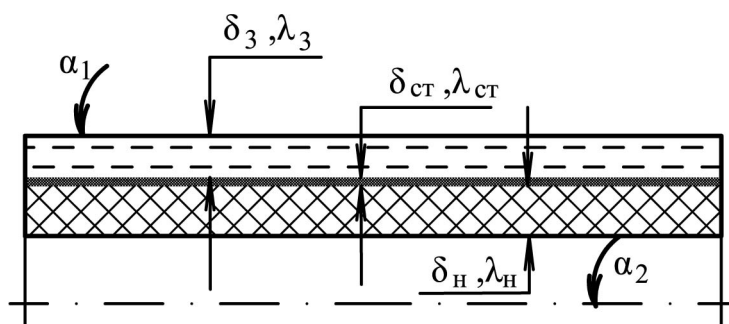


Рис. 25. Схема теплообмена в трубках

Наличие золы и сажи на внешней поверхности трубок уменьшает теплопередачу, так как теплопроводность золы и сажи очень мала  $\lambda_3 = 0,09 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ . При правильной организации процессов сжигания топлива в топке и движении продуктов сгорания по газоходам парогенератора толщина отложений золы и сажи незначительна и зависит от вида топлива и способов его сжигания. В расчетах загрязнение внешней поверхности труб учитывается коэффициентом загрязнения  $\xi$ . Если трубки чистые, то  $\xi = 1$ .

Термическое сопротивление металлической стенки незначительное из-за большой теплопроводности стали  $\lambda_{\text{ст}} = 40 \div 50 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$  и в расчетах величину  $\frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}}$  не учитывают.

Термическое сопротивление слоя накипи  $\frac{\delta_{\text{н}}}{\lambda_{\text{н}}}$  – может достигать больших значений и существенно снижать теплопередачу. Теплопроводность накипи в зависимости от ее состава и состояния изменяется в пределах:  $\lambda_{\text{н}} = 1,1 \div 3,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ .

Возможность образования накипи (выпадение солей жесткости) в трубах парогенератор ничтожно мала из-за подачи химически очищенной воды и

большой турбулентности потока в трубах. Термическим сопротивлением накали  $\frac{\delta_n}{\lambda_n}$  в трубках парогенератора в расчетах пренебрегают.

Коэффициент теплопередачи в элементах парогенератора представляется в виде:

$$K = \frac{\xi}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}. \quad (32)$$

Здесь  $\alpha_1$  – теплоотдача от пламени в топке. Осуществляется излучением и конвекцией:

$$\alpha_1 \approx 25 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \text{ – в топке котла};$$

$$\alpha_1 \approx 30 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \text{ – в экономайзере (в газоходе)};$$

$\alpha_2$  – теплоотдача от внутренней стенки трубы к теплоносителю:

$$\alpha_2 = (3..10) 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \text{ – некипящая вода};$$

$$\alpha_2 = (10..50) 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \text{ – кипящая вода.}$$

При высокой интенсивности теплообмена, то есть при больших значениях  $\alpha_2$ , температура стенки трубы может достичь высоких значений (температура в топке  $1800 \div 2200^\circ\text{C}$ ) и трубка может перегореть. Поэтому пароперегреватель и экономайзер располагают не в топке котла, а в газоходе, где температура отходящих газов значительно ниже и равна  $600 \div 700^\circ\text{C}$ . [8, с. 276]

Требования безопасности при эксплуатации оборудования энергоблока.

Безаварийная эксплуатация оборудования и безопасное ведение работ зависят от соблюдения Норм и Правил технологического регламента и выполнения требований безопасности при работах на объектах энергоблока во взрывопожароопасных и токсичных зонах.

Выполнение всех видов работ на оборудовании химического и нефтехимического производств производится после принятия оперативным персоналом необходимых и достаточных мер безопасности и оформления наряда-допуска на соответствующие виды работ.

На НХЗ и НПЗ действуют следующие виды нарядов-допусков по технике безопасности:

- наряд-допуск на проведение ремонтных работ;
- наряд-допуск на проведение газоопасных работ;
- наряд-допуск на проведение огневых работ (сварочное разрешение);
- наряд-допуск для работ в электроустановках.

Запрещается проведение каких-либо работ на установках, находящихся под давлением ЛВЖ, газов или жидкостей.

Выведенное в ремонт, но не заземленное электрооборудование считать находящимся под напряжением.

Оперативному персоналу необходимо регулярно проводить обход и осмотр действующего и выведенного в ремонт оборудования не реже одного раза в час.

Персонал, обслуживающий объекты энергоблока (котельные агрегаты, паровые и газовые турбины, компрессорные и насосные установки, трубопроводы и сосуды, работающие под давлением, электрические установки и сети, грузоподъемное оборудование) должен быть обучен и должен пройти проверку знаний. Периодическая проверка знаний обслуживающего эксплуатационного и ремонтного персонала должна проводиться не реже одного раза в год. Все инженерно-технические работники проходят проверку знаний не реже одного раза в три года.

Персонал по обслуживанию установок с вредными условиями труда должен проходить медицинский осмотр один раз в два года.

### 4.3. Паровые и газовые турбины в технологии сжатия газов

Широкое распространение в химической технологии компримирования (сжатия) пиролизных газов получили паровые турбины, основные преимущества которых заключаются в следующем:

- возможность широкого и плавного регулирования частоты вращения, а следовательно, и изменения производительности и давления газа в компрессорных установках;
- создание большой мощности в одном агрегате;
- возможность надежного дистанционного управления паротурбинной установкой;
- меньшая зависимость от сетей электроснабжения.

В химической технологии применяются паровые турбины высокого давления ( $P_0=6..13$  МПа), среднего давления ( $P_0 = 3..4$  МПа) и низкого давления ( $P_0 = 0,12..0,25$  МПа) с температурой острого пара до  $t_0 = 540^\circ\text{C}$ . При этом все турбины подразделяются на:

- турбины конденсационные, в которых отработанный пар направляется в конденсатор, где вакуум создается с помощью парового эжектора;
- турбины с противодавлением, в которых отработанный пар уходит в паропровод с давлением ниже начального  $P_0$ ;
- турбины с промежуточным отбором пара для технологических целей и повышения экономичности теплового цикла.

По способу расширения пара турбины делятся на активные и реактивные. Активными турбинами называются турбины, в которых рабочее тело (пар) расширяется только в неподвижных соплах статора, а в каналах рабочих лопаток ротора происходит лишь изменение направления потока при постоянном давлении.

Если рабочее тело расширяется и в соплах статора, и в каналах рабочих лопаток ротора, то такая турбина (или ступень) называется реактивной.

Принцип работы активной турбины рассмотрим на примере одной ступени, изображенной на рис. 26.

Пар с начальным давлением  $P_0$  и температурой  $t_0$  подводится к неподвижному сопловому аппарату  $1$ , где адиабатно расширяется до давления  $P_1$ , при этом скорость пара возрастает от  $C_0$  до  $C_1$ . На рабочих лопатках  $2$  происходит преобразование кинетической энергии в механическую работу на валу турбины  $4$  за счет поворота струи пара между активными рабочими лопатками. При этом скорость пара падает от  $C_1$  до  $C_2$ , а давление не изменяется и остается равным  $P_1$ . Далее пар поступает либо на последующие рабочие ступени, либо в конденсатор в одноступенчатой турбине.

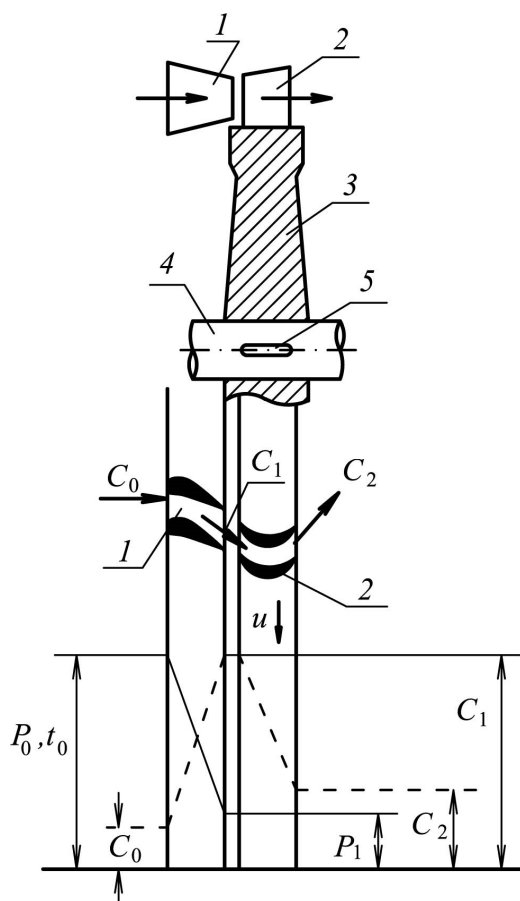


Рис. 26. Активная ступень турбины

$1$  – неподвижный сопловой аппарат;  $2$  – активные рабочие лопатки;  $3$  – рабочее колесо;  $4$  – вал турбины;  $5$  – крепящая шпонка;  $P_0, t_0$  – давление и температура пара при выходе в сопловой аппарат;  $C_0$  – скорость пара при входе в аппарат;  $C_1$  – скорость пара при выходе из аппарата;  $P_1$  – давление при выходе из аппарата;  $C_2$  – абсолютная скорость пара при выходе из рабочих лопаток;  $u$  – окружная скорость рабочего колеса

Реактивные турбины, в которых пар расширяется как в сопловом аппарате, так и в рабочих лопатках, более компактны, но имеют низкий КПД из-за увеличения потерь в рабочих ступенях и менее надежны из-за осевых усилий на рабочих лопатках.

Эффективная мощность паровой конденсатной турбины (мощность на валу) определяется по формуле

$$P_e = m h_0 \eta_{0e}, \text{ кВт}, \quad (33)$$

где  $m$  – массовый расход пара при номинальной нагрузке, кг/с;  $h_0$  – располагаемый (абсолютный) теплоперепад в турбине, кДж/кг;  $\eta_{0e} = \eta_{0i} \cdot \eta_m$  – относительно эффективный КПД турбины;  $\eta_{0i}$  – относительно внутренний КПД, учитывающий внутренние потери в рабочих ступенях.  $\eta_{0i} = 0,8 \div 0,85$ ;  $\eta_{0m}$  – механический КПД, учитывающий потери на трение в подшипниках  $\eta_{0m} = 0,9 \div 0,95$ ;  $\eta_{0i} = \frac{h_d}{h_0}$ ;  $h_d$  – действительный (политропный) теплоперепад в турбине, кДж/кг. Теплоперепады  $h_0$  и  $h_d$  иллюстрируются на рис. 27.

Газовые турбины также применяются в качестве приводов центробежных компрессоров для сжатия и транспортирования газообразных продуктов пиролиза. По принципу работы газовые турбины не отличаются от паровых, но имеют следующие особенности:

- рабочим телом в газовых турбинах являются продукты сгорания жидкого топлива, и рабочий процесс протекает при высоких температурах (до 800°C) и низких давлениях (0,4 МПа). Поэтому газовые турбины выполняются с небольшим числом ступеней, изготовленных из жаростойких высоколегированных сталей с антикоррозийными свойствами;
- наличие высоких температур вызывает необходимость применения воздушного или водяного охлаждения деталей газовых турбин, что усложняет установку и приводит к дополнительным потерям;
- наличие у газовых турбин камеры сгорания также приводит к усложнению цикла и повышенным затратам;
- поскольку рабочим телом в газовых турбинах является токсичное вещество, то возникает необходимость подачи воздуха в лабиринтовые концевые уплотнения, чтобы исключить попадание ядовитого газа в помещение машинного зала.

#### 4.4. Компрессоры в химической промышленности. Характеристики центробежных машин. Сжатие газа в поршневом компрессоре

В химической промышленности широкое распространение получили центробежные компрессоры, сжатие газа в которых происходит за счет движения среды в каналах переменного сечения. Применяются также поршневые и винтовые компрессоры, в которых сжатие газа осуществляется путем уменьшения объема. Все компрессоры имеют либо турбинный, либо электрический привод.

Основные преимущества центробежных компрессоров:

- малые габариты и масса на единицу производительности;

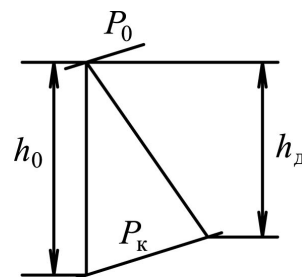


Рис. 27. Теплоперепад в турбине:  
 $P_0$  – начальное давление острого пара;  
 $P_k$  – конечное давление в конденсаторе



- равномерная подача газа;
- уравниваемость конструкции центробежных машин;
- отсутствие масляных паров в газе.

Рабочая ступень центробежного компрессора иллюстрирована на рис. 28.

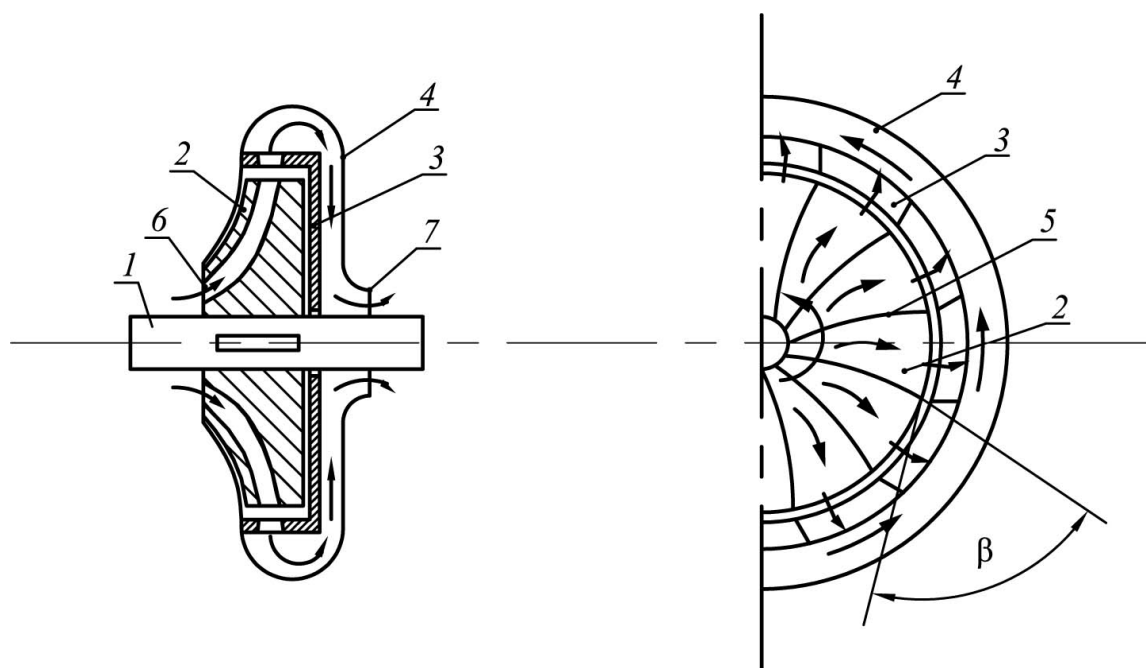


Рис. 28. Принципиальный вид одноступенчатого центробежного компрессора:  
 1 – вал компрессора; 2 – рабочее колесо; 3 – диафрагма; 4 – корпус компрессора; 5 – рабочие лопатки, назад загнутые с углом  $\beta < 90^\circ$ ; 6 – вход воздуха; 7 – выход воздуха

Одноступенчатый центробежный компрессор состоит из вала  $1$ , на котором насажено рабочее колесо  $2$  с рабочими лопатками  $5$ . при вращении колеса с большой частотой ( $n = 3000 \div 10000$  об/м) газ через входные отверстия  $6$  поступает в каналы между рабочими лопатками  $5$ , где под действием центробежных сил приобретает большую скорость, с которой входит в расширяющийся диффузорный канал диафрагмы  $3$ . Здесь и происходит превращение кинетической энергии в потенциальную энергию давления. Дальнейшее повышение давления осуществляется в корпусе  $4$ , имеющем также диффузный профиль. Далее газ с повышенным давлением на выходе  $7$  поступает к потребителю в одноступенчатом компрессоре, либо в рабочее колесо в многоступенчатом компрессоре. Работа, затрачиваемая в диффузоре на сжатие, численно равна технической работе поршневого компрессора. Степень сжатия в центробежном компрессоре ограничивается максимально возможной скоростью газа при входе в диффузор, то есть максимально допустимой частотой вращения ротора центробежной машины.

Расходные характеристики центробежных машин, то есть характеристики  $P = f(Q)$ , зависят от профиля рабочих лопаток в рабочем колесе. На рис. 29 показан воздушный вентилятор, на рабочее колесо  $1$  которого нанесены рабочие лопатки  $2$  с тремя возможными профилями в зависимости от величин выходного угла  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ .

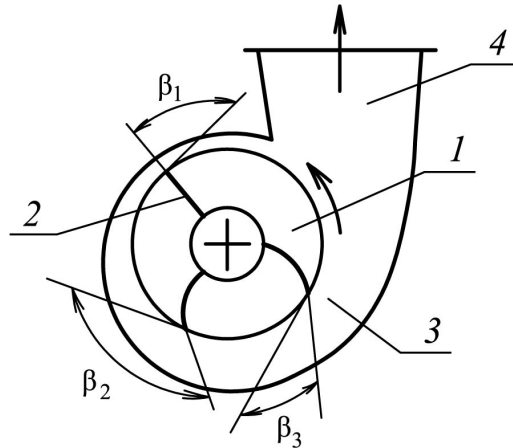


Рис. 29. Центробежный вентилятор с различными профилями рабочих лопаток: 1 – рабочее колесо; 2 – рабочие лопатки;  $\beta_1 = 90^\circ$  - радиально направлены;  $\beta_2 > 90^\circ$  - вперед загнутые;  $\beta_3 < 90^\circ$  - назад загнутые; 3 – спиральная камера; 4 – диффузор

Назначение отдельных элементов:

- рабочее колесо 1 с рабочими лопатками 2 предназначено для создания кинетической энергии при движении рабочего тела (воздух, газ)  $E_k = \frac{m}{v^2}$ , Дж.
- спиральная камера 3 предназначена для преобразования кинетической энергии в потенциальную энергию давления  $E_k \rightarrow E_p = p \cdot v$ , Дж.
- диффузор 4 предназначен для дальнейшего увеличения давления в диффузорно расширяющемся канале.

На рис. 30 нанесены расходные характеристики центробежных машин с различными профилями рабочих лопаток.

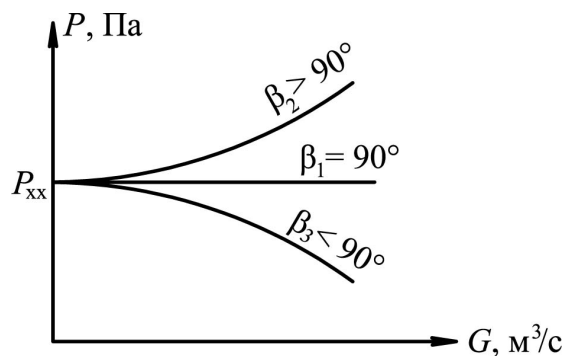


Рис. 30. Вид расходных характеристик центробежных машин с различными профилями рабочих лопаток:

$G$  – объемная производительность вентилятора  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $P$  – развиваемое давление, Па

Из рис. 30 следуют выводы:

- если  $\beta_1 = 90^\circ$ , то характеристика  $P = f(G)$  изодромная, при этом  $P = \text{const}$ ,  $G = \text{var}$ , рабочий процесс неустойчив – возможны автоколебательные процессы;

- если  $\beta_1 > 90^\circ$ , то характеристика  $P = f(G)$  восходящая, при этом параметры  $P$  и  $G$  имеют одинаковые знаки  $\pm P, \pm G$ , рабочий процесс неустойчив – возможны расходящиеся колебания;
- если  $\beta_1 < 90^\circ$ , характеристика  $P = f(G)$  падающая, при этом параметры  $P$  и  $G$  имеют разные знаки  $\pm P, \mp G$ , рабочий процесс устойчив – возможные колебания будут затухающими.

### Устойчивая характеристика центробежных машин

Для нормальной эксплуатации центробежных машин (насосов, компрессоров, вентиляторов) необходимо, чтобы их совместная работа с сетью была устойчивой при любых изменениях расхода жидкости ( $W$ ) или газа ( $G$ ). Это означает, что при любых возмущениях, возникающих при эксплуатации (изменение напряжения в электрической сети или давления пара в паропроводе и как следствие изменение частоты вращения электрокомпрессора или турбокомпрессора, или же при изменении давления), или расхода в сети потребителя режим работы центробежной машины должен возвращаться в первоначально заданное положение, то есть в рабочую точку  $A$  (рис. 31). Таким свойством обладают центробежные машины с падающей расходной характеристикой на всем диапазоне регулирования подачи.

Такую характеристику имеют центробежные насосы с рабочими лопатками загнутыми назад  $\beta < 90^\circ$  (см. рис. 30). Устойчивая характеристика центробежного насоса при совместной его работе с сетью приведена на рис. 31.

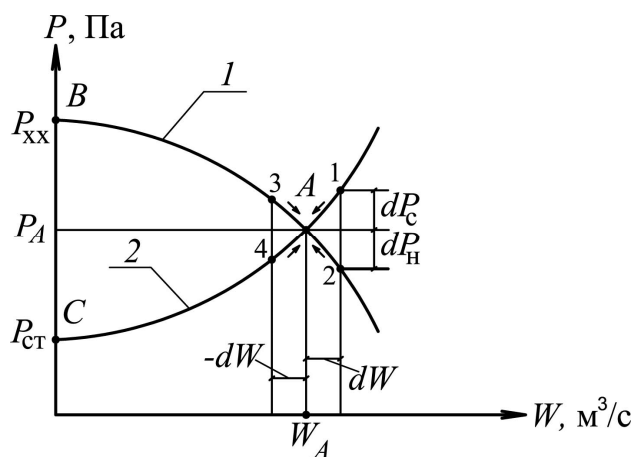


Рис. 31. Устойчивая характеристика насоса при работе с сетью:

1 – характеристика центробежной машины,  $P = f(Q)$ ; 2 – расходная характеристика сети; точка  $A$  – рабочая точка;  $dW$  – изменение расхода;  $dP_c, dP_n$  – изменение давления в сети и в насосе; точка  $B$  – давление холостого хода ( $P_{xx}$ ); точка  $C$  – статическое ( $P_{ст}$ ) давление в трубопроводе сети;  $\frac{dP_c}{dW} > \frac{dP_n}{dW}$  – условие устойчивой работы центробежных машин

Из рис. 31 видно, что при случайном (внезапном) увеличении расхода жидкости на величину  $dW$  противодействие в сети (точка 1) оказывается больше давления, создаваемого насосом (точка 2). В этот момент сеть будет тормозить

работу насоса и насос вернет свой режим работы в исходное первоначальное состояние – в рабочую точку  $A$ , уменьшив при этом величины расхода  $dW$  и давления  $dP_c$ . Если же произойдет уменьшение расхода на величину  $dW$ , то давление насоса (точка 3) превысит сопротивление сети (точка 4) и насос, увеличив свою подачу, вернет режим работы в исходное состояние – в рабочую точку  $A$ .

Такая работа насоса в сети называется устойчивой.

### Неустойчивая характеристика центробежных компрессоров

При работе компрессорных установок в сетях могут возникнуть неустойчивые режимы. При этом наблюдается резкое изменение подачи и, следовательно, резкое изменение мощности привода. Такие режимы происходят в тех случаях, когда характеристика компрессора имеет «седлообразный» вид из-за нелинейных свойств сжимаемого газа в промежуточных объемах компрессора.

Рассмотрим режим работы центробежного компрессора с седлообразной характеристикой, представленной на рис. 32.

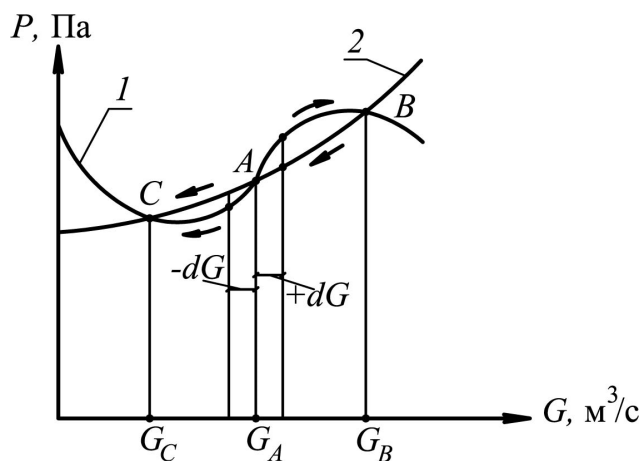


Рис. 32. Неустойчивая характеристика центробежного компрессора:

1 – неустойчивая характеристика центробежного компрессора; 2 – характеристика сети; точка  $A$  – неустойчивая рабочая точка; точка  $B$  – положительное изменение расхода; точка  $C$  – отрицательное изменение расхода

Расчетный режим работы определяется рабочей точкой  $A$ . При увеличении расхода газа в компрессоре на величину  $dG$  давление, развиваемое компрессором, оказывается больше противодействия сети и подача компрессора будет и дальше расти. Так будет продолжаться до тех пор, пока режим работы компрессора не перейдет в общую с сетью точку  $B$ , при этом  $G_B > G_A$ . Если же расход газа в компрессоре уменьшится на величину  $dG$ , то давление сети окажется больше, чем развиваемое компрессором давление, и подача будет продолжать уменьшаться до тех пор, пока режим работы компрессора не перейдет в точку  $C$ . Условие устойчивости в точках  $A$ ,  $B$  и  $C$  не выполняется.

Режим работы центробежного компрессора на участке с седлообразной характеристикой неустойчивый. Устойчивость работы достигается при работе

компрессора на нисходящей падающей ветви расходной характеристики, где выполняется условие  $\frac{dP_H}{dG} < 0$ .

### **Явление помпажа в центробежных компрессорах и кавитации в насосах. Способы регулирования расхода**

Скачкообразное изменение режима работы (между точками *B* и *C*, рис. 32) вызывает явление, называемое помпажем. Помпаж обнаруживается по увеличенному шуму в компрессоре и интенсивным колебаниям давления в сети. Работа компрессора в условиях помпажа не допустима. Особенно опасен режим в точке *C* в области отрицательных подач ( $-dG$ ). Компрессор не справляется с сетью и при отсутствии обратного клапана на напорной линии газ из напора поступает через компрессор к входному патрубку, что вызывает повышенную вибрацию и может привести к поломке компрессора в целом и вызвать пожар во взрывоопасных зонах химического производства. Для устранения помпажа необходимо:

- применять центробежные компрессоры со стабильной устойчивой (падающей) расходной характеристикой;
- не допускать работу компрессора в седлообразном участке расходной характеристики на участке *C-A-C*;
- на напорной линии непосредственно за компрессором установить обратный клапан и дросселирующую задвижку с целью регулирования расхода газа;
- при появлении помпажа необходимо уменьшить частоту вращения компрессора для надежного закрытия обратного клапана.

### **Явление кавитации в насосах**

В насосах, перекачивающих жидкие среды, при снижении давления на вале ниже давления насыщения рабочей среды возникает явление, называемое кавитацией. При этом происходит вскипание жидкости, и выделяются пузырьки газа, которые, схлопываясь внутри жидкости, резко увеличивают скорость движения и давление среды. Происходит эрозийное разрушение металла. Кавитация сопровождается резким шумом, треском и увеличением вибрации насосного агрегата. Работа насоса в кавитационном режиме не допускается. Во время эксплуатации насоса нельзя допускать снижения давления и температуры рабочей среды на всосе. Техническим средством устранения кавитации является постановка дополнительного бустерного осевого колеса на входе среды в первое рабочее колесо.

### **Способы регулирования параметров сети – расхода и давления**

Основной задачей регулирования машины является подача в сеть заданного расхода жидкости или газа. Рассмотрим основные способы регулирования центробежных машин.

### Дроссельное регулирование

Наиболее распространенный способ. Осуществляется с помощью дросселя – задвижки на напорной линии насоса. График дроссельного регулирования представлен на рис. 33.

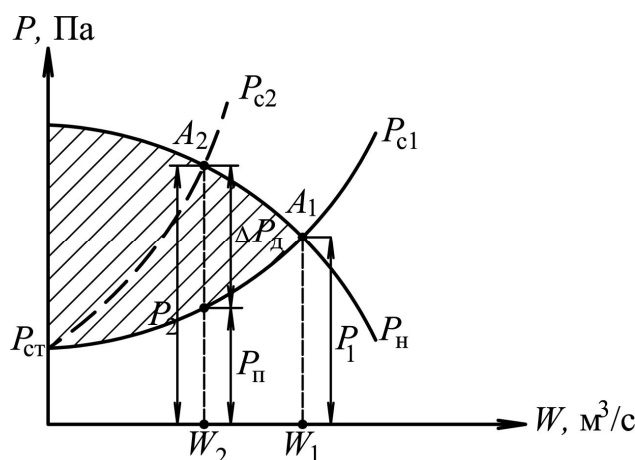


Рис. 33. Дроссельное регулирование параметров сети:

Точка  $A_1$  – рабочая точка при открытой задвижке 4,  $[P_1; Q_1]$ ; точка  $A_2$  – рабочая точка при дросселировании – задвижка приоткрыта,  $[P_2; Q_2]$ ;  $P_{c1}, P_{c2}$  – характеристики сети в 1 и 2 положениях;  $P_n$  – характеристика насоса;  $\Delta P_d$  – потери давления при дросселировании;

$P_n$  – полезно используемое давление сети

По мере закрытия напорной задвижки увеличивается гидравлическое сопротивление, уменьшаются расход  $Q$  и давление в сети  $P$ . Каждому положению задвижки соответствует новая характеристика сети.

Точка  $A_1$  определяет устойчивый режим работы насоса при полностью открытой задвижке ( $Q_1; P_1$ ).

Точка  $A_2$  определяет режим работы насоса с уменьшенным расходом  $Q_2$  с прикрытой напорной задвижкой. Давление, развиваемое насосом, увеличивается и становится равным

$$P_2 = P_n + \Delta P_d,$$

где  $P_n$  – полезно используемое давление сети,  $\Delta P_d$  – потери давления при дросселировании потока жидкости в прикрытой задвижке.

Заштрихованная площадь на рис. 33 выражает потери мощности привода насоса при регулировании расхода прикрытием задвижки, то есть при дросселировании потока жидкости. Таким образом, дроссельное регулирование при  $n = \text{const}$  достигается введением дополнительного гидравлического сопротивления в сеть трубопроводов машины. Поскольку наибольшая подача достигается при полностью открытой задвижке (точка  $A_1$ ), дроссельное регулирование применяется только с целью уменьшения расхода.

### Регулирование изменением частоты вращения насоса

Способ возможен при использовании в качестве привода двигателя с регулируемой частотой вращения. К таким двигателям относятся паровая турбина, двигатели внутреннего сгорания, электродвигатели постоянного тока и

асинхронные двигатели переменного тока или с фазным ротором или с регулируемой частотой тока, допускающие плавное изменение частоты вращения. Способ иллюстрируется графиком на рис. 34.

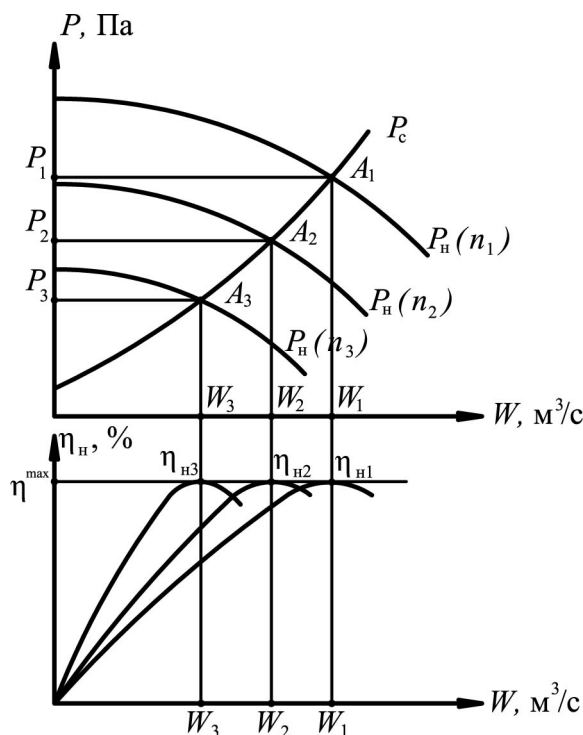


Рис. 34. Регулирование расхода изменением частоты вращения:

$P_c$  – характеристика сети;  $P_H(n_1)$ ,  $P_H(n_2)$ ,  $P_H(n_3)$  – характеристика насоса при  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$ ;  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  – рабочие точки насоса и сети,  $[P_1-W_1, P_2-W_2, P_3-W_3]$ ;  $\eta_{n1}$ ,  $\eta_{n2}$ ,  $\eta_{n3}$  – КПД насоса в рабочих точках  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$

При изменении частоты вращения  $n$  характеристики насоса  $P_H(n_1)$ ,  $P_H(n_2)$ ,  $P_H(n_3)$  представляют собой конгруэнтные кривые (рис. 34) и рабочая точка  $A$ , перемещаясь по характеристике сети  $P_c$ , дает различные значения расходов  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_3$  с уменьшенным значением давлений  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ . Этот метод при отсутствии дросселирования потока в полностью открытой напорной задвижке не приводит к дополнительным гидравлическим потерям, и в рабочих точках  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  давления насоса и сети согласованы между собой. Коэффициенты полезного действия насосной установки в точках  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  равны между собой и имеют максимальные значения:  $\eta_{n1} = \eta_{n2} = \eta_{n3} = \eta^{\max}$ .

#### *Сжатие газа в поршневом компрессоре*

Преимуществом поршневых компрессоров является возможность получения высоких давлений газа в конце сжатия, но с меньшей производительностью, по сравнению с центробежными компрессорами. Обычно в одноступенчатом (одноцилиндровом) поршневом компрессоре степень сжатия  $\varepsilon = \frac{P_1}{P_2} = 6..8$ .

Если требуется сжать газ в поршневом компрессоре с большей степенью сжатия, то необходимо использовать многоступенчатый компрессор. При переходе из одной ступени в другую газ охлаждают в промежуточных водяных охладите-

лях. Количество ступеней, необходимое для достижения заданной степени повышения давления, определяется конечной температурой сжатия газа  $T_2$ , которая не должна превышать температуру вспышки компрессорного смазочного масла (493÷533 К).

Электрические разряды, возникающие в проточной части компрессора, могут вызвать возгорание нагара и взрыв масляных паров в воздухе компрессора.

Многоступенчатое сжатие с промежуточным охлаждением приближает рабочий процесс компрессора к изотермическому процессу, при котором температуры газа  $T_1 = \text{const}$  и  $T_2 = \text{const}$ .

Принципиальная схема и диаграмма сжатия газа в трехступенчатом поршневом компрессоре показана на рис. 35.

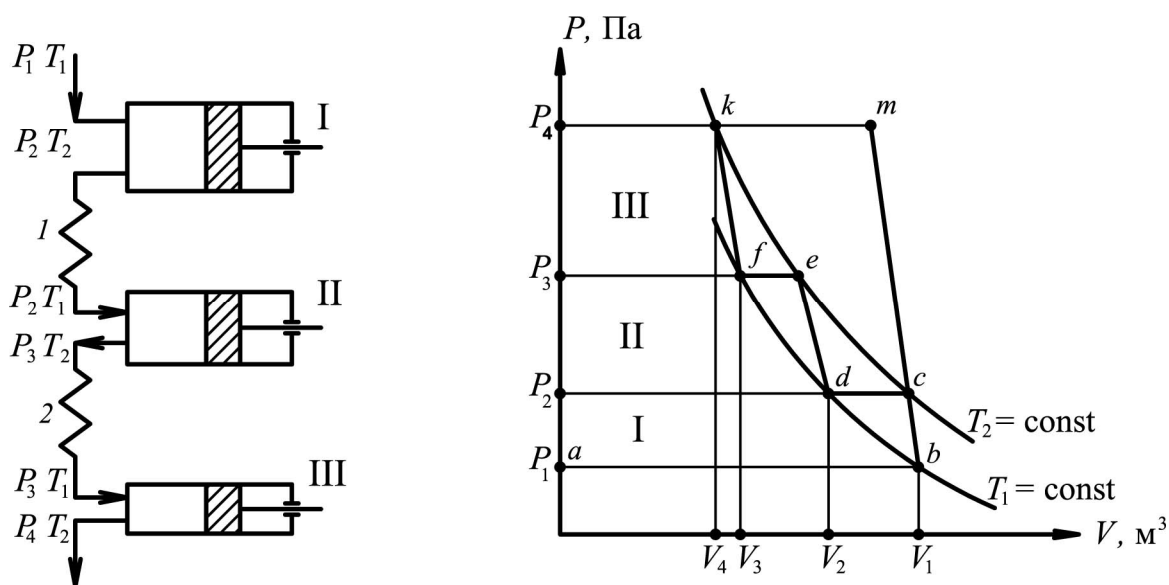


Рис. 35. Принципиальная схема трехступенчатого поршневого компрессора и диаграмма сжатия газа в нем:

$P_1, P_2, P_3, P_4$  – давление газа в цилиндрах I-II-III компрессора;  $T_1, T_2$  – абсолютные температуры в цилиндрах и промежуточных охладителях 1-2;  $V$  – объем газа,  $\text{м}^3$

На рис. 35 линии  $bc$ ,  $dl$  и  $fk$  представляют политропные (действительные) процессы сжатия в I, II, и III цилиндрах соответственно. Площади под этими линиями – теплота, которая отводится от сжимаемого в этих цилиндрах газа охлаждаемого водой в промежуточных охладителях 1 и 2.

Линии  $cd$  и  $ef$  представляют процесс изобарного ( $P = \text{const}$ ) охлаждения газа в охладителях 1 и 2.

Техническая работа, затрачиваемая на сжатие, в каждой ступени одинакова, что определяется одинаковой степенью сжатия  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3$ . Для трехступенчатого компрессора она находится из выражения  $\varepsilon = \left(\frac{P_4}{P_1}\right)^{1/3}$ .



Площадь под линией  $b-c-d-e-f-k$  – есть техническая работа трехступенчатого поршневого компрессора при сжатии в нем 1 кг газа, которая с достаточной точностью описывается формулой

$$l_{\text{тех}} = \frac{n}{n-1} (P_4 V_4 - P_1 V_1), \text{ Дж/кг}, \quad (34)$$

где  $n = 1,2 \div 1,35$  – показатель политропы.

Потребляемая мощность на валу многоступенчатого компрессора определяется следующим образом:

$$P = \frac{G \cdot \rho_0 \cdot l_{\text{тех}} \cdot z}{1000 \cdot \eta_{\text{изот}} \cdot \eta_{\text{мех}}}, \text{ кВт}, \quad (35)$$

где  $G$  – производительность компрессора,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\rho_0$  – плотность газа на входе,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $z$  – число ступеней компрессора;  $\eta_{\text{изот}} = 0,6 \div 0,8$  – изотермический КПД;  $\eta_{\text{мех}} = 0,8 \div 0,9$  – механический КПД.

Поршневые компрессоры имеют ряд недостатков, свойственных всем машинам с возвратно-поступательным движением: большие габариты, значительную массу фундамента, тихий ход, наличие быстроизнашивающихся трущихся частей, пульсирующую подачу газа, высокую вибрацию и большой уровень шума.

## 5. БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГОБЛОКА

### 5.1. Опасные и вредные производственные факторы при эксплуатации оборудования энергоблока

- 1) Высокие параметры перегретого и насыщенного пара, питательной воды и конденсата:  $P = (0,15 \div 12)$  МПа,  $t = (110 \div 540)$ °С.
- 2) Горячие поверхности трубопроводов и сосудов:  $t_{\text{пов}} > 45$ °С.
- 3) Высокий уровень вибрации и производственного шума:  $L_v > 92$  дБ и  $L_p > 80$  дБ.
- 4) Высокое напряжение электрического тока:  $U = 127, 220, 380, 6000$  В и более в силовых системах, в схемах управления, сигнализации, защиты и освещения.
- 5) Наличие взрывоопасных и токсичных веществ на территориях и в производственных помещениях энергоблока: хлора, этилена, безнопирена, аммиака и других продуктов пиролиза газа и углеводородного сырья.
- 6) Наличие больших объемов масла в системах смазки и регулирования паровых турбин и компрессоров.
- 7) Высокая пожароопасность при попадании масла на паропроводы. При концентрации масляных паров от 6 до 11% в воздухе с температурой  $t = 200$ °С происходит самовоспламенение и взрыв масловоздушной смеси.
- 8) Высокая частота вращения машин создает механическую опасность при обслуживании.

### 5.2. Травмоопасные объекты энергоблока. Причины аварийных режимов и отказов в работе

Основные технические причины аварийных режимов и отказов в работе на объектах энергоблока следующие:

- 1) В котлоагрегатах:
  - несоблюдение точного режима и обезвоживание трубной системы и барабана котла и как результат пережог трубок поверхностей нагрева и разрыв стенок барабана котла;
  - неисправности запорной и регулирующей арматуры;
  - нарушение целостности защитной обмуровки котлоагрегата, тепловой изоляции и оголение паропроводов;
  - физический износ металла паропроводов, сварных соединений, гибов, литых и кованных изделий, проработавших более 100 000 часов, и как результат образование течей и разрыв сварных соединений и гибов паропроводов;
  - разгерметизация фланцевых соединений и сальниковых устройств арматуры.
- 2) В паровых турбинах:

- поломки рабочих и направляющих лопаток в проточной части турбины вследствие завышенной частоты вращения, высокой вибрации или недопустимых перегрузок.
- поломки регулирующих и стопорных клапанов;
- низкочастотная вибрация в подшипниках скольжения.
- осевое смещение ротора и выплавление упорного подшипника;
- увеличение протечки масла и пара из концевых уплотнений.

3) В компрессорных агрегатах:

- разгерметизация соединений в трубопроводах и арматуре нагнетания газа;
- износ и поломка рабочих лопаток и других частей в центробежных и поршневых установках;
- резкое повышение температуры газа при отказе в работе промежуточных воздухоохладителей;
- возникновение помпажа и как следствие высокая вибрация, увеличенный шум и утечки газа из уплотнений.

4) В сосудах, работающих под давлением:

- нарушение герметичности в разъемных соединениях корпусов и фланцев;
- отказы в работе систем контроля уровня и защиты сосудов;
- эрозийно-коррозионный износ стенок сосудов и трубопроводов;
- образование свищей и разрывов змеевиков в подогревателях высокого давления;
- нарушение правил безопасности при сварочных работах внутри сосуда.

Опасность возникновения аварийных режимов на объектах энергоблока связана с воздействием природных и техногенных факторов:

- грозовые разряды (перенапряжения в электрических сетях и установках);
- ураганы, сильный ветер (падение с высоты незакрепленных предметов, опор электрических проводников и трубопроводов);
- понижение температуры окружающей среды ниже проектной (замерзание рабочих сред, разрывы и разгерметизация оборудования);
- попадание оборудования энергоблока в зону действия пожаров и взрывов на объектах химического производства.

### **5.3. Технические требования безопасности к основным объектам энергоблока**

#### ***Паровые и водогрейные котлы***

- паровые и водогрейные котлы должны выполняться на заводах-изготовителях и эксплуатироваться на всех предприятиях согласно «Правилам устройств и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов».
- паровые котлы с избыточным давлением пара выше 0,07 МПа (0,7 кг/см<sup>2</sup>) и водогрейные котлы с температурой нагрева воды выше 388 К (115°С) регистрируются в местных органах Ростехнадзора перед пуском в эксплуата-

цию и периодически проходят техническое освидетельствование и гидравлическое испытание пробным давлением  $1,25P_{\text{раб}}$ , но не менее  $P_{\text{раб}} + 0,3$  МПа. Периодическое техническое освидетельствование поводится в следующие сроки: внутренний осмотр – 1 раз в 4 года, гидравлическое испытание – 1 раз в 8 лет.

- каждый паровой котел производительностью более 100 кг/ч должен иметь не менее двух предохранительных клапанов, давление срабатывания которых устанавливается от 1,05 до 1,1 от рабочего давления в пароперегревателе котла.
- паровые котлы производительностью 0,7 т/ч и выше должны иметь звуковую сигнализацию нижнего и верхнего предельных уровне воды в барабане котла, а также устройство, прекращающее подачу топлива к горелкам в случае снижения уровня воды в барабане ниже допустимого предела.
- водогрейные котлы, работающие на жидком или газообразном топливе, оборудуются устройствами, автоматически отключающими подачу топлива в топку при прекращении циркуляции воды. Предохранительные клапаны водогрейных котлов должны быть отрегулированы на начало открытия при давлении не более 1,08 рабочего давления.
- все котлы должны быть оснащены контрольно-измерительными приборами, показывающими и регистрирующими температуру, давление рабочих тел и производительность котла.
- в котельных помещениях в зоне постоянного пребывания обслуживающего персонала температура воздуха в холодный период не должна быть ниже  $12^{\circ}\text{C}$ , а в теплый период летом не должна превышать температуру наружного воздуха более чем на  $5^{\circ}\text{C}$ .
- кроме рабочего освещения, в помещениях котельных и блочных щитах управления должно быть установлено аварийное электрическое освещение  $U = 110$  В от источников, не зависящих от общей электрической сети.
- монтаж и эксплуатация электрического оборудования котельных помещений (светильники, токопроводы, защитное заземление и др.) должны соответствовать «Правилам устройства электроустановок».

### ***Компрессорные установки***

- при эксплуатации компрессорных установок, предназначенных для компрессирования взрывоопасных и токсичных газов, необходимо руководствоваться «Правилами устройства и безопасной эксплуатации стационарных компрессорных установок, воздухопроводов и газопроводов», «Правилами устройства и безопасной эксплуатации поршневых компрессоров, работающих на взрывоопасных и токсичных газах», а также «Правилами устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов для горючих, токсичных и сжиженных газов».
- компрессорные установки должны быть снабжены контрольно-измерительными приборами (термометрами, манометрами и расходомерами), а также устройствами защиты, управления и остановки всего агрегата.

- компрессорные установки, работающие на взрывоопасных и токсичных газах, имеют предохранительные устройства и сдвоенную запорную арматуру с воздушниками между ними для аварийного сброса давления газа в факельную систему.
  - компрессорные установки должны обеспечиваться бесперебойной подачей масла для смазки всех подшипников и механизмов, при этом температура нагнетаемого газа должна быть на  $20^\circ$  меньше температуры вспышки масла.
  - компрессорные установки снабжаются надежной системой водяного охлаждения сжатого газа. Режим работы промежуточных воздухоохладителей должен соответствовать требованиям инструкции по эксплуатации.
  - на линиях нагнетания компрессорных установок до запорной задвижки устанавливаются обратные клапаны в удобных местах для обслуживания.
  - уровень шума на рабочих местах в помещениях компрессорных установок не должен превышать 80 дБА. В помещениях щитов управления уровень шума должен быть снижен до 55 дБА за счет рассеяния от источников шума, стен и двойного остекления. Допустимая максимальная амплитуда виброскорости на подшипниках компрессоров  $v^{\max} = 4,5$  мм/с, на трубопроводах и арматуре  $v^{\max} = 8$  мм/с.
  - все проходы, открытые колодцы, траншеи, канавы в производственных помещениях должны иметь постоянное ограждение высотой не менее 0,9 м, а ремонтные и монтажные проемы также должны иметь ограждения со сплошной защитной полосой не менее 0,15 м.
  - все вращающиеся части компрессора и его оборудования (маховики, валы муфты и др.) должны иметь надежное ограждение.
- В зависимости от свойств компримируемых газов необходимо соблюдение специальных требований безопасности.*
- при работе водородных компрессоров должна быть обеспечена герметичность концевых уплотнений и всех соединений. При концентрации водорода в воздухе более 4% создается взрывоопасная смесь.
  - при работе кислородных компрессоров недопустим контакт кислорода и любыми видами смазочных масел, поскольку они быстро окисляются и воспламеняются. Поэтому для смазки используют водоглициериновую эмульсию или применяют центробежные компрессоры сухого трения, работающие без смазки на фторопластовых подшипниках.
  - ацетилен компримируют в специальных поршневых компрессорах со скоростью движения поршня не более 0,7 м/с, с температурой газа в нагнетательном трубопроводе не выше  $140^\circ\text{C}$  и давлением не выше 2,6 МПа (26 кг/см<sup>2</sup>). В этих компрессорах не допускается применение меди и сплавов, содержащих более 70% меди.
  - в воздушных компрессорах возможно образование взрывоопасных смесей даже при небольших количествах горючих газов, поступающих с забираемым воздухом. Поэтому воздух забирается из зоны, не содержащей приме-

сей горючих газов и пыли на высоте не менее 2÷3 м от уровня земли и очищается в специальных фильтрах.

- компрессоры для хлора должны быть надежно герметизированы, что обусловлено большой токсичностью хлора. Газ, прошедший концевые лабиринтовые уплотнения, отводится в систему обработки и факельную сеть. Компрессоры снабжаются системой отсоса хлора из уплотнений и продувкой инертным газом – азотом.

### ***Насосы***

Парк насосов, применяемых в химической промышленности, разнообразен по назначению, условиям работы и по конструкции. Насосы являются не только средством транспортирования продукта, но и устройством, обеспечивающим непрерывность технологических процессов. Поэтому правильный подбор типа насоса для каждого конкретного случая – важный фактор безопасности на НХЗ и НПЗ. Наиболее распространены центробежные насосы. Они имеют относительно небольшие габариты, могут быть непосредственно соединены с электрическим приводом, не имеют быстро изнашивающихся цилиндров и поршневых колец. Центробежные насосы дают равномерную, без толчков, подачу жидкости, они безопаснее при работе на закрытую задвижку. Многоступенчатые центробежные насосы способны развивать высокие давления (до 30 МПа и выше) и перекачивать жидкость с температурой до 400°С.

Недопустимо перекачивание взрывоопасных жидкостей-диэлектриков насосами с проточной частью из неметаллических материалов из-за опасности накопления зарядов статического электричества.

Всасывающий трубопровод на центробежных насосах, установленных выше резервуара, из которого берется жидкость, должен быть перед пуском в работу заполнен жидкостью и иметь приемный клапан, задерживающий столб жидкости в трубопроводе при останове насоса.

Не допускать работу центробежных насосов в режиме кавитации, который возникает при снижении давления жидкости на входе в насос ниже давления насыщения. В струе перекачиваемой жидкости при этом образуются каверны, заполненные парами или газами. При входе их в область повышенного давления у рабочего колеса пары конденсируются, в жидкости образуются зоны повышенного давления (до сотен атмосфер). Удары жидкостей приводят к эрозии, разрушению рабочих поверхностей, создают вибрацию, при этом увеличивается износ подшипников. Поэтому на всасывающем трубопроводе целесообразно устанавливать излишние запорные задвижки, клапаны, фильтры с большим гидравлическим сопротивлением.

Центробежные насосы оснащаются контрольно-измерительными приборами и арматурой, обеспечивающими безопасность при эксплуатации.

На напорном трубопроводе устанавливается обратный клапан для предотвращения движения жидкости во время остановки насоса и задвижка, используемая при остановке и пуске насоса и для регулирования его подачи.

Насосы снабжаются дренажным устройством для полного удаления жидкости из насосов, что особенно важно при размещении на открытых площадках.

### ***Трубопроводы и арматура***

На предприятиях нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности общая протяженность трубопроводов составляет десятки тысяч километров, а число трубопроводной арматуры достигает сотни тысяч единиц. Сеть трубопроводов является источником повышенной опасности: вследствие тяжелых условий эксплуатации происходит разрушение материала труб и разгерметизация соединений, а из-за большой протяженности и разветвленности сети контроль ее состояния затруднен.

Безопасность и надежность эксплуатации трубопроводных сетей и их элементов в значительной степени зависит от соблюдения нормативных документов: «Правил устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды», «Правил устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов для горячих, токсичных и сжиженных газов». На химических и нефтеперерабатывающих предприятиях действуют обобщающие «Руководящие указания по эксплуатации, ревизии, ремонту и опробованию технологических трубопроводов под давлением до 100 кг/см<sup>2</sup>» (РУ-75).

Безопасность эксплуатации трубопроводов обеспечивается их правильной прокладкой, качественным монтажом, установкой теплокомпенсаторов, устройств обогрева и дренажа, постоянным контролем и своевременным ремонтом. Прокладка трубопроводов на химических предприятиях может быть подземной (в проходных тоннелях, непроходных каналах), а также наземной (на эстакадах, кронштейнах, по колоннам и стенам зданий).

Подземная прокладка трубопроводов с сильнодействующими ядовитыми веществами и кислотами запрещена.

Все подземные трубопроводы должны быть защищены от почвенной коррозии, а также от коррозии, вызываемой блуждающими токами.

Все наземные трубопроводы должны иметь защиту от механических повреждений и замерзания отводимой жидкости.

Трубопроводы располагают с небольшим уклоном в сторону движения потока, без «мешков» и тупиков, в которые может скапливаться продукт, и иметь дренажные устройства для отвода конденсата или воды. Особо важное значение дренажные устройства имеют для безопасной эксплуатации паропроводов.

При перекачивании горячих продуктов трубопроводы покрывают тепловой изоляцией. При этом температура наружного слоя теплоизоляции не должна превышать 45°С.

Для обогрева трубопроводов с легко замерзающими продуктами (например, с бензолом, с минеральными кислотами или с нефтью) прокладываются паровые спутники.

Для отключения одной части трубопровода от другой, для отключения и включения технологических установок, аппаратов и сосудов служит запорная арматура (задвижки, вентили, краны). Наиболее распространенный вид запорной арматуры – задвижки. Они имеют небольшое гидравлическое сопротивление, обеспечивают протекание среды в обоих направлениях. Задвижки должны

использоваться в качестве запорной, а не регулирующей арматуры, поэтому в рабочем положении они полностью открыты или полностью закрыты.

*Преимущество задвижек* – плавность и относительная длительностью их закрывания. Это предотвращает опасность возникновения гидравлических ударов, приводящих к резкому повышению давления у запорного органа и вызывающих в отдельных случаях разрушение трубопровода.

*Недостатки задвижек* – сложность конструкции, быстрый износ уплотнительных поверхностей и сальников.

Задвижки снабжаются электрическими приводами в случаях, когда для их открывания и закрывания требуются большие усилия, а также для дистанционного управления ими.

Для отключения трубопроводов со взрывоопасными и токсичными средами, работающих под давлением 4 МПа и выше, устанавливают две запорных задвижки, между которыми размещают дренажный вентиль с условным проходом не менее 25 мм. При более низком давлении устанавливают одну задвижку, рядом с которой размещают фланцевое соединение для установки заглушки с отдельной прокладкой; между задвижкой и заглушкой располагают пробный вентиль для контроля плотности. Заглушки крепятся к соответствующим фланцам и устанавливаются в соответствии с действующей на предприятии инструкцией.



## 6. НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ

Основным и главным условием производственной безопасности при эксплуатации установок, систем и устройств на нефтехимических и нефтеперегонных заводах является надежная работа оборудования.

Надежность оборудования – это комплексное свойство выполнять заданные функции, сохраняя основные эксплуатационные характеристики при допустимых значениях вибрации, шума, излучений и отработанных отходов.

В понятие надежности входят:

- безотказность работы;
- долговечность эксплуатации;
- ремонтпригодность оборудования;
- сохранность.

Эти качества закладываются на стадии проектирования и должны обеспечиваться на стадиях изготовления, монтажа, ремонта и эксплуатации в течение всего срока амортизации.

*Безотказность в работе* – это свойство непрерывно сохранять работоспособность между двумя последовательными ремонтами. Оценивается безотказность по фактическим эксплуатационным параметрам, уровням вибрации и другим показателям.

*Долговечность эксплуатации* – это свойство оборудования сохранять работоспособность в течение всего срока службы.

Ремонтпригодность – это свойство восстанавливать работоспособность оборудования посредством ремонтов.

*Сохранность* – это свойство оборудования противодействовать коррозионным разрушениям при внутренних и внешних воздействиях окружающей среды.

Надежность вращающихся механизмов как фактор производственной безопасности во многом определяется вибрационным состоянием машин. Всякая неуравновешенность во вращающихся механизмах вызывает повышенную вибрацию и шум, отрицательно действует как на работу самого оборудования, так и на здоровье и самочувствие обслуживающего персонала.

Особое значение в обеспечении надежности на НХЗ и НПЗ имеет герметизация производственного оборудования.

### 6.1. Вибрация машин в различных режимах работы. Виды технической вибрации. Средства снижения вибрации

Выбор способа снижения вибрации в различных режимах работы машин, в резонансном, дорезонансном и зарезонансном, базируется на анализе общей зависимости амплитуды виброскорости  $v_m$ :

$$v_m = \frac{F_m}{\sqrt{\mu^2 + \left(m\omega - \frac{k}{\omega}\right)^2}}, \text{ м/с}, \quad (36)$$

где  $F_m$  – амплитуда внешней неуравновешенной силы, Н;  $\omega$  – угловая частота внешней силы, 1/с, Гц;  $\mu = \frac{k \eta}{x_{ст}}$  – коэффициент сопротивления ротора машины,

Н.с/м;  $\eta$  – коэффициент потерь колебательной энергии (внутренних – в металле ротора и внешних – в смазке подшипников);  $k = F_m/x_{ст}$  – коэффициент жесткости ротора, Н/м.

В резонансном режиме при равенстве частот вибрации и собственной частоты колебания машины, то есть  $\omega_{вб} = \omega_0$ , выражение (36) принимает вид

$$v_m = \frac{F_m \cdot \omega_0}{k \cdot \eta}, \text{ м/с.} \quad (37)$$

В дорезонансном режиме, когда частота вибрации меньше собственной частоты колебаний машины, то есть  $\omega_{вб} < \omega_0$ , формула (36) при  $\eta = 0$  имеет вид

$$v_m = \frac{F_m \cdot \omega_{вб}}{k}, \text{ м/с.} \quad (38)$$

В зарезонансном режиме, когда частота вибрации машины больше собственной частоты колебаний, то есть  $\omega_{вб} > \omega_0$ , формула (36) при  $\eta = 0$  имеет вид

$$v_m = \frac{F_m}{m \cdot \omega_{вб}}, \text{ м/с.} \quad (39)$$

Анализ формул (37), (38) и (39) показывает:

– снижение вибрации на всех режимах работы машины достигается уменьшением внешней неуравновешенной силы  $F_m$ , что достигается либо при помощи балансирования (статического, динамического), либо при помощи центрирования осей вращения смежных роторов (формула 37, 38, 39).

– в резонансном режиме снижение вибрации, кроме уравновешивания вращающихся масс балансированием и центрированием, возможно выполнить увеличением коэффициента сопротивления колебательной системы  $\mu$  за счет увеличения коэффициента жесткости  $k$  и коэффициента потерь  $\eta$  (формула 37).

– в дорезонансном режиме снижение вибрации достигается как за счет снижения  $F_m$ , так и за счет увеличения коэффициента жесткости  $k$  (формула 38);

– в зарезонансном режиме, в котором работают большинство роторов энергетических машин (паровых и газовых турбин, компрессорных установок), снижение вибрации, кроме балансирования и центрирования, можно достичь увеличением массы машины  $m$ , главным образом, увеличением массы фундамента  $M$  (формула 39);

– в резонансе высокая собственная частота  $\omega_0$  приводит к увеличению вибрации (формула 37);

– в дорезонансном режиме увеличение частоты вибрации  $\omega_{вб}$  приводит к росту амплитуды виброскорости  $v_m$  (формула 38).

– в зарезонансном режиме работы машины высокая частота вибрации  $\omega_{вб}$  приводит к снижению виброскорости  $v_m$ , система как бы стремится к неподвижности (формула 39).

В зависимости от отношения частоты вибрации  $\omega_{вб}$  к частоте вращения машины  $\omega_{вр}$  техническая вибрация подразделяется на следующие виды:

- обратная вибрация;
- низкочастотная вибрация;
- высокочастотная вибрация.

Вибрация каждого из перечисленных видов имеет свои, принципиально отличные от других, причины.

*Оборотная вибрация* – это вибрация, при которой частота вибрации  $\omega_{вб}$  совпадает с частотой вращения  $\omega_{вр}$ , то есть  $\omega_{вб} = \omega_{вр}$ . Обратная вибрация возникает по двум причинам. Первая – несовпадение центра тяжести ротора с центром вращения (разбалансировка); вторая причина заключается в смещении осей вращения смежных роторов (расцентровка).

Вибрацию подшипниковых опор измеряют в трех взаимноперпендикулярных направлениях: вертикальном  $v_x$ , горизонтально-поперечном  $v_z$  и горизонтально-осевом  $v_y$ .

На рис. 36 представлен общий вид опорного подшипника турбоагрегата и составляющие оборотной вибрации.

Снижение оборотной вибрации:

- если  $v_x > v_y > v_z$  и больше нормированного значения

$$v_m^{норм} = 4,2 \text{ мм/с} \quad (n=3000 \text{ об/м}),$$

то следует выполнять балансировку ротора статическую или динамическую. Статическая

балансировка производится на коротких роторах с одной плоскостью дисбаланса. Динамическая балансировка осуществляется на длинных роторах с двумя плоскостями дисбаланса (по количеству опор).

- если  $v_y > v_x > v_z$  и больше  $v_m^{норм}$ , то необходимо провести торцевое (угловое) центрирование осей вращения смежных роторов.
- если  $v_z > v_x > v_y$  и больше  $v_m^{норм}$ , необходимо провести радиальное центрирование осей вращения смежных роторов по полумуфтам сцепления.

*Низкочастотная вибрация* – это вибрация машины с частотой, равной (или близкой) половине частоты вращения, то есть  $\omega_{вб} = \omega_{вр}/2$ . Низкочастотная вибрация возникает в случае потери устойчивости вращения вала на масляной пленке подшипника из-за выработки баббитовой заливки в нижнем вкладыше и увеличения зазоров, а также из-за нарушения температурного режима в системе смазки подшипника. В результате ротор проседает на величину эксцентриситета, вокруг которого возникает дополнительное вращение ротора со скоростью в два раза меньшей рабочей частоты. Это дополнительное вращение называется процессией. Образуется новая система вращения – «юла».

Устранение низкочастотной вибрации достигается:

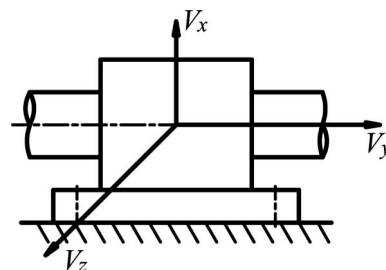


Рис. 36. Общий вид опорного подшипника турбоагрегата:

$V_x$  – вертикальная составляющая вибрации;  
 $V_z$  – поперечная составляющая вибрации;  
 $V_y$  – поперечная составляющая вибрации

- восстановлением нормированных зазоров в подшипниках скольжения, а именно:  $x_{\text{в}} = 0,002 \cdot d$ ;  $x_{\text{б}} = 0,001 \cdot d$ , мм, где  $x_{\text{в}}$ ,  $x_{\text{б}}$  – верхний и боковые зазоры, мм,  $d$  – диаметр шейки ротора, мм;
- нормированным температурным режимом в системе смазки агрегата ( $t_{\text{вх}}^{\text{норм}} = 38 \div 42^{\circ}\text{C}$ );
- соблюдением графика набора мощности на электроустановках;
- если при выполнении вышеперечисленных пунктов низкочастотная вибрация сохраняется, то необходимо перейти на «лимонную» расточку баббитовой заливки подшипников скольжения, при которой боковые зазоры в два раза превышают верхний зазор, то есть  $x_{\text{б}} = 0,004 \cdot d$ .

*Высокочастотная вибрация* – это вибрация, при которой частота вибрации вдвое превышает частоту вращения, то есть  $\omega_{\text{вб}} = 2 \omega_{\text{вр}}$ . Вибрация двойной частоты вращения возникает под действием веса ротора при неравномерной изгибной прочности, при которой моменты сопротивления по взаимно-перпендикулярным осям  $w_x$  и  $w_y$  не равнозначны, то есть  $w_x \neq w_y$ . Такая вибрация возникает в основном на роторах мощных электродвигателях и генераторах при ослаблении секций обмоток и лобовых бандажных втулок, что и приводит к нарушению симметричной прочности роторов. Работа машин при низкочастотной и высокочастотной вибрации не допускается.

## 6.2. Герметизация производственного оборудования

Герметичность, или плотность оборудования химических и нефтеперерабатывающих производств, наравне с прочностью, является важнейшим требованием производственной безопасности. Негерметичность оборудования, работающего под давлением, может оказаться причиной отравления рабочей зоны и людей. Для вакуумных аппаратов возможны подсосы через неплотности воздуха или воды. В обоих случаях могут возникать пожары и взрывы.

Герметичность арматуры и приборов проверяют на стендах. Герметичность самих аппаратов – на месте в собранном состоянии. Герметичность определяется величиной падения давления  $\Delta P$  за 1 час в % от начального давления по формуле:

$$\Delta P = \frac{100}{\tau} \left( 1 - \frac{P_{\text{к}} \cdot T_{\text{н}}}{P_{\text{н}} \cdot T_{\text{к}}} \right), \% \quad (40)$$

где  $P_{\text{н}}$ ,  $T_{\text{н}}$  – начальное давление и температура;  $P_{\text{к}}$ ,  $T_{\text{к}}$  – конечные давление и температура;  $\tau$  - время испытания, час.

Герметичность удовлетворительная, если

$\Delta P \leq 0,1$  % - для оборудования с токсичной средой,

$\Delta P \leq 0,2$  % - для оборудования с взрывоопасными средами.

Время испытания должно быть не менее  $\tau \geq 4$  часа, для новых аппаратов –  $\tau \geq 24$  часа.

Герметичность оборудования, обеспечивается непроницаемостью конструкций, прочностью материалов, прочностью и плотностью сварных и разъемных соединений.

Все сосуды, работающие под давлением, подвергаются гидравлическому испытанию на прочность и плотность пробным давлением  $P_{пр}$  (см. Раздел 7. Сосуды, работающие под давлением)

#### *Герметизация неподвижных разъемных соединений*

К ним относятся фланцевые, резьбовые, бугельные и другие соединения. Плотность достигается сжатием непосредственно взаимных поверхностей или через прокладку между ними. Во фланцевых соединениях, работающих под давлением или вакуумом, применяют прокладки:

- металлические (сталь, медь, свинец и др.);
- неметаллические (паронит, картон, резина, фибра, кожа, фторопласт);
- армированные (паронит с металлическим каркасом).

Типы фланцевых соединений показаны на рис. 37.

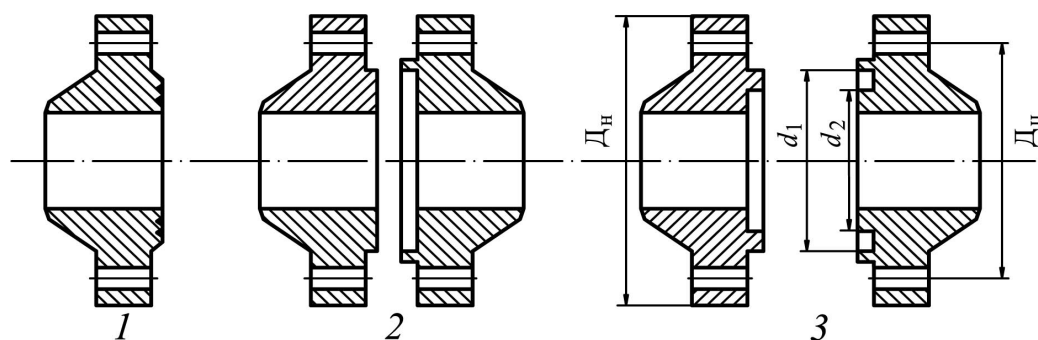


Рис. 37. Фланцевые соединения (ГОСТ 12812-80):

1 – фланец плоский  $P_y = 0,6$  МПа; 2 – фланец с выступом и впадиной  $P_y = 4$  МПа; 3 – фланец шип-паз  $P_y = 10$  МПа;  $P_y$  – условное давление, МПа

Преимущества фланцевых соединений:

- сборка и разборка в ограниченное время;
- возможность регулирования натяга;
- простота механического изготовления;
- многократное использование.

Недостатки фланцевых соединений:

- металлоемкость, большие габариты;
- неприменимость при малых размерах трубопроводов.

Резьбовые (штуцерные) соединения применяют для воды, пара, нетоксичных и не взрывопожароопасных продуктов до давления  $P \leq 0,3$  МПа.

#### *Герметизация подвижных соединений*

К ним относятся уплотнения штоков арматуры: задвижек, клапанов, вентилей и других устройств. Общие требования к уплотнениям следующие:

- высокая точность и чистота обработки трущихся поверхностей;

- строгая центровка подвижных деталей относительно неподвижных сальниковых втулок.

Основной тип уплотнений штоков, задвижек, вентилях и клапанов – сальниковые уплотнения, конструкция которых представлена на рис. 38.

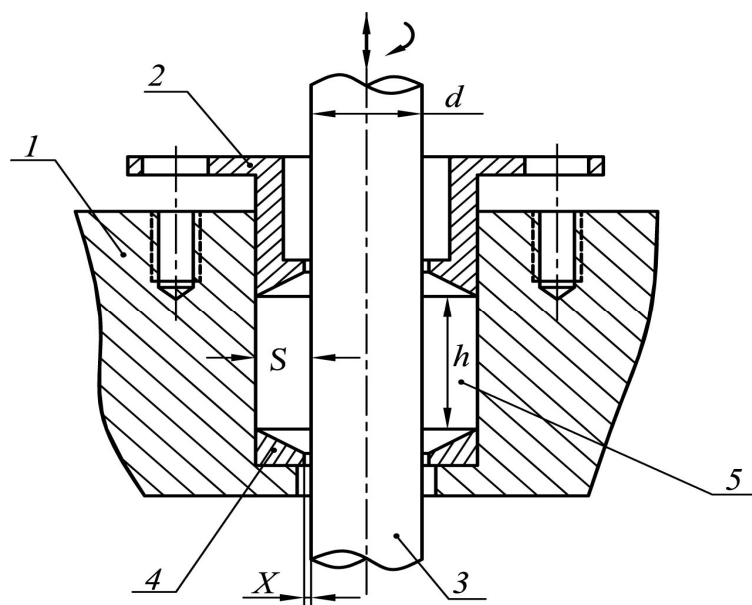


Рис. 38. Конструкция сальникового уплотнения:

1 – корпус задвижки, насоса; 2 – нажимная гайка; 3 – шток, вал; 4 – уплотнительное кольцо; 5 – пространство для набивки сальника

Толщина слоя набивки  $S$  определяется зависимостью  $S = (1,5 \div 2,5) \sqrt{d}$ , мм. Минимальная высота набивки  $h$  находится из выражения  $h = d + 3S$ , мм.

При увеличении высоты сальниковой набивки повышается герметичность уплотнения, но увеличиваются потери на трение. При больших диаметрах штоков задвижек и больших перепадах давления увеличиваются протечки через сальник. Резко возрастает утечка с увеличением зазора  $X$  (см. рис. 38) между корпусом задвижки и штоком. Рекомендуется установка уплотнительного кольца из латуни или бронзы (при работе на воде или насыщенном паре) с зазором  $X = 0,3 \div 0,5$  мм.

Исходя из условий работы, в качестве материала для сальниковой набивки выбирается: хлопчатобумажный, резиновый, асбестовый, фторопластовый, либо другие химически и температуростойкие материалы.

#### *Герметизация концевых уплотнений насосов*

Валы насосов уплотнены концевыми уплотнителями, которые:

- препятствуют утечкам жидкости из насоса;
- не допускают попадания воздуха в насос, работающего под вакуумом;
- охлаждают вал и подшипники при перекачке горячих жидкостей;
- обеспечивают герметизацию вала с токсичными и взрывоопасными жидкостями.

По конструкции концевые уплотнения разделяются на сальниковые, торцевые и винтовые.

Сальниковые уплотнения наиболее распространены из-за простоты выполнения и обслуживания. Хорошо работают при давлении перед сальником до 1 МПа (10 кг/см<sup>2</sup>) и окружной скорости до 20 м/с.

Сальниковое уплотнение насоса представлено на рис. 39.

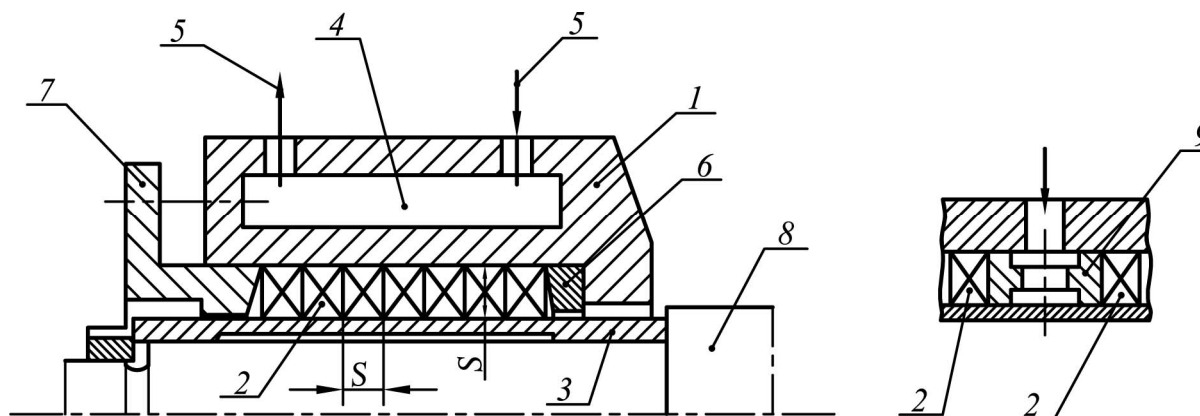


Рис. 39. Сальниковое уплотнение насоса:

1 – корпус сальника; 2 – кольца сальниковой набивки; 3 – защитная втулка; 4 – камера охлаждения; 5 – вход, выход охлаждающей воды; 6 – кольцо уплотнительное; 7 – грунд-букса сальника; 8 – вал насоса; 9 – гидравлическое кольцо

В корпус сальника 1 устанавливают кольца из мягкой сальниковой набивки 2. в осевом направлении кольца сальника поджимают нажимной грунд-буксой 7, при этом набивка прижимается к уплотнительному кольцу 6, создавая герметичность. Если насос работает под вакуумом, то между кольцами набивки 2 устанавливается гидравлическое кольцо 9, в которое подается химоочищенная вода, препятствующая проникновению воздуха в насос.

Толщина колец  $S$  сальниковой набивки для насосов выбирается из условия

$$S = \sqrt{d} - \text{для валов с диаметром } d \leq 100 \text{ мм,}$$

$$S = 2\sqrt{d/3} - \text{для валов с диаметром } d > 100 \text{ мм.}$$

Материал сальниковой набивки для насосов определяется условием работы:

- для холодной воды – хлопчатобумажная набивка, пропитанная техническим графитом и маслом;
- для горячей воды с температурой до 260°C применяют набивку АГ-1 – комбинация асбеста, резинового клея и графита;
- для перекачивания горячих нефтепродуктов – сальниковые кольца из алюминиевой фольги с мягким асбестовым сердечником.

Недостатком сальникового уплотнения является увеличение протечек при повышенной вибрации и осевых смещениях ротора насоса, а также чувствительность к выработке вала или защитной втулки.

### Торцевое уплотнение

Получило широкое распространение, так как практически обеспечивает полную герметичность.

Общий вид торцевого уплотнения и схема действия сил в нем показаны на рис. 40.

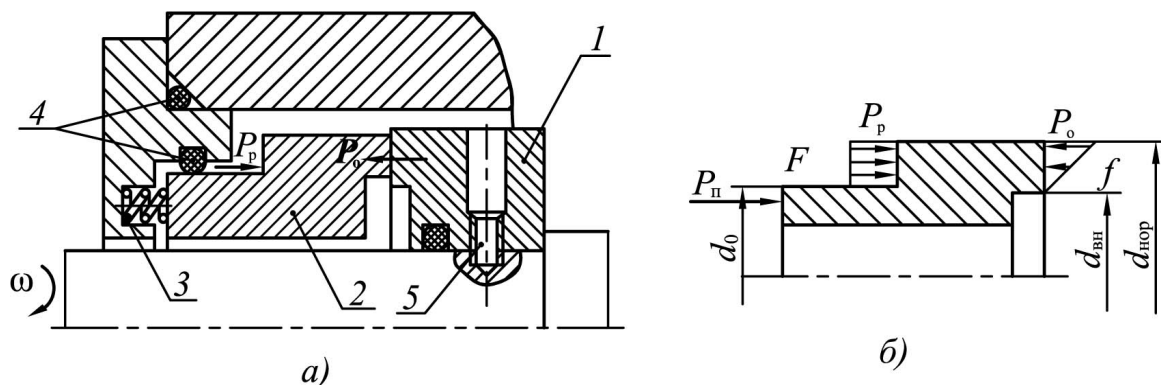


Рис. 40. Общий вид торцевого уплотнения и схема действия сил:  
а) общий вид торцевого уплотнения; б) схема действия сил; 1 – кольцо вращающееся; 2 – кольцо не вращающееся; 3 – пружина сжатия; 4 – уплотнительные кольца; 5 – стопорный винт;  $P_o$  – осевое давление;  $P_p$  – давление разгрузки;  $P_{п}$  – сила пружины

Коэффициент уравнивания осевых усилий в торцевом уплотнении определяется:

$$K = \frac{P_p}{P_o} \text{ или } K = \frac{f_p}{F_o},$$

где  $f_p = \frac{\pi(d_{нар}^2 - d_{вн}^2)}{4}$  – площадь усилия разгрузки;  $F_o = \frac{\pi(d_{нар}^2 - d_0^2)}{4}$  – площадь осевого усилия.

Для гидравлически разгруженных уплотнений  $K < 1$ , что достигается изменением диаметра  $d_0$ . Применяют на практике  $K = 0,55 \div 0,8$ . Если  $K > 1$  – уплотнение не разгружено.

Преимущества торцевых уплотнений, по сравнению с сальниковыми уплотнениями, следующие:

- нормально работают при повышенной вибрации ротора, так как уплотнения плоские и расположены перпендикулярно оси вала;
- более долговечны;
- возможна работа под высоким давлением и большой окружной скоростью;
- не требуют ухода при работе насоса.



## 7. СОСУДЫ, РАБОТАЮЩИЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Сосудом, работающим под давлением, называется герметически закрытая емкость, предназначенная для ведения химических, тепловых и других технологических процессов, а также для хранения и транспортирования газообразных, жидких и других веществ. Границей сосуда являются входные и выходные штуцера.

Наиболее распространенными сосудами под давлением являются баллоны, цистерны, бочки.

Баллон – сосуд, имеющий одну или две горловины для установки вентиля, фланцев и штуцеров, предназначенных для транспортирования, хранения и использования сжатых, сжиженных или растворенных под давлением газов.

Бочка – сосуд цилиндрической или другой формы, который можно перекатывать с одного места на другое и ставить на торцы без дополнительных опор, предназначенный для транспортирования и хранения жидких и других веществ.

Цистерна – передвижной сосуд, постоянно установленный на раме железнодорожного вагона, на шасси автомобиля (прицепа) или на других средствах передвижения, предназначенный для транспортирования и хранения газообразных, жидких и других веществ.

Потенциальная опасность сосудов заключается в возможности, при определенных условиях, физического или химического взрыва, тепловых и химических ожогов, механических травм, разрушений оборудования и помещений, а в случае применения токсичных веществ – отравления работающих.

Физическим взрывом называется освобождение работы адиабатического сжатия паров или газов при разгерметизации или нарушении механической прочности корпуса емкости, в которой находится вещество под большим давлением.

Химический взрыв может произойти при разгерметизации систем, содержащих сжатые, сжиженные или растворенные горючие газы и жидкости, которые при соединении с кислородом воздуха образуют взрывоопасные смеси. Источником зажигания чаще всего являются разряды статического электричества, возникающие при истечении газа из разгерметизированной емкости.

Причинами взрывов сосудов и баллонов, предназначенных для хранения, транспортировки и использования сжатых, сжиженных и растворенных газов, являются:

- нагрев баллонов солнцем, открытым огнем;
- быстрое наполнение баллонов при зарядке;
- падение баллонов и удары о твердые предметы (поверхности);
- попадание масел на арматуру или горловину кислородных баллонов;
- низкое качество или осадка пористой массы в ацетиленовых баллонах;
- быстрый выпуск газа из баллонов, могущий вызвать искры в струе газа;
- ошибочное заполнение баллонов газами или жидкостями, для которых они не предназначены;

- появление дефектов (например, литейных раковин, газовых пор, трещин, прожогов и др.), снижающих прочностные характеристики баллонов и сосудов;
- нарушение режимов эксплуатации и др.

Вследствие высокой опасности герметичных систем, работающих под избыточным внутренним давлением, их проектирование, устройство, изготовление, монтаж, испытание ремонт и эксплуатация регламентируется «Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением» ПБ 03– 576– 03.

### **7.1. Общие технические требования**

Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением распространяются на:

- сосуды, работающие под давлением воды с температурой выше 115 °С или другой жидкости с температурой превышающей температуру кипения при давлении 0,07 МПа, без учета гидростатического давления;
- сосуды, работающие по давлением пара или газа свыше 0,07 МПа;
- баллоны, предназначенные для транспортирования и хранения сжатых, сжиженных и растворенных газов под давлением свыше 0,07 МПа;
- цистерны и бочки для транспортирования и хранения сжатых и сжиженных газов, давление паров которых при температуре до 50 °С превышает давление 0,07 МПа;
- цистерны и сосуды для транспортирования или хранения сжатых, сжиженных газов, жидкостей и сыпучих тел, в которых давление выше 0,07 МПа создается периодически для их опорожнения.

Примером сосуда, работающего под давлением, может служить сетчатый газосепаратор (рис. 41).

Правила не распространяются на перечисленные ниже сосуды:

1. Сосуды, изготавливаемые в соответствии с «Правилами устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок», утверждаемыми Росатомнадзором России, а также сосуды, работающие с радиоактивной средой.
2. Сосуды вместимостью не более 0,025 м<sup>3</sup> независимо от давления, используемые для научно–экспериментальных целей. При определении вместимости из общей емкости сосуда исключается объем, занимаемый футеровкой, трубами и другими внутренними устройствами. Группа сосудов, а также сосуды, состоящие из отдельных корпусов и соединенные между собой трубами с внутренним диаметром более 100мм, рассматриваются как один сосуд.
3. Сосуды и баллоны вместимостью не более 0,025 м<sup>3</sup>, у которых произведение давления в МПа на вместимость в м<sup>3</sup> не превышает 0,02.
4. Сосуды, работающие под давлением, создающимся при взрыве внутри них в соответствии с технологическим процессом.
5. Сосуды, работающие под вакуумом.

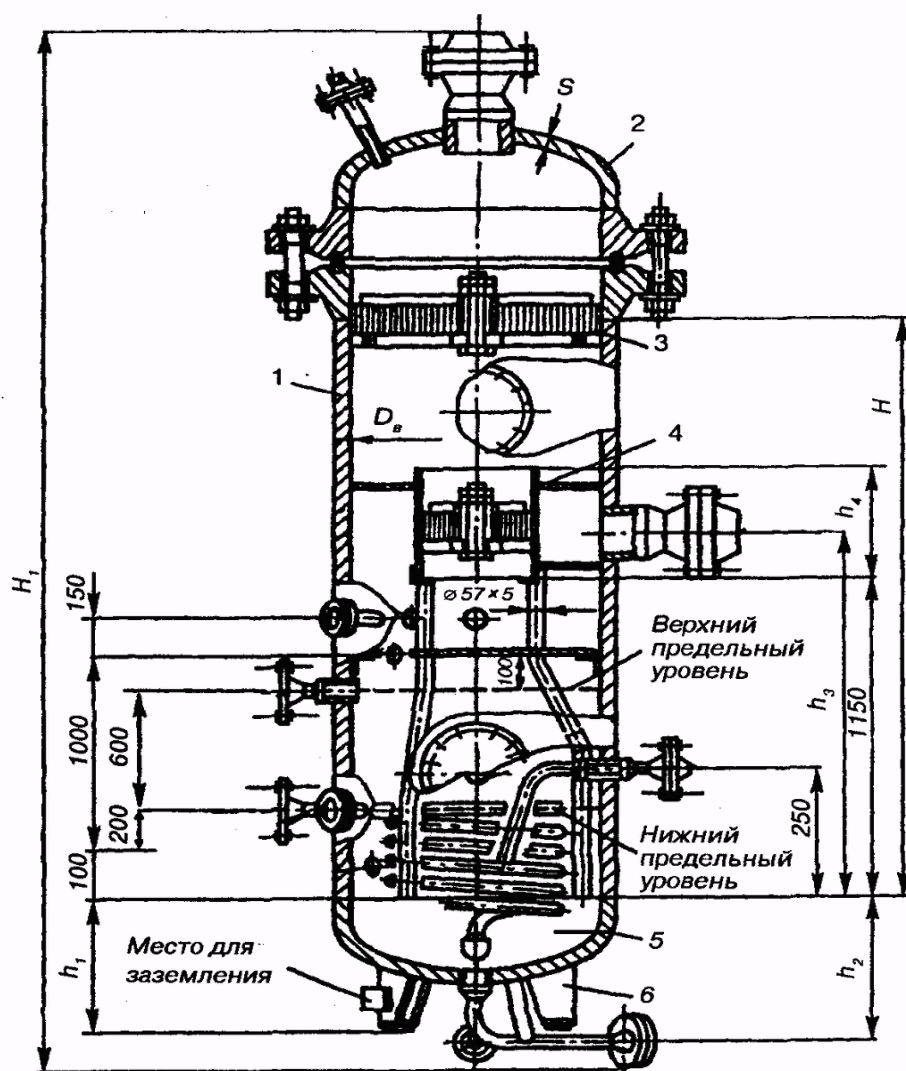


Рис. 41 Сетчатый газосепаратор

6. Сосуды, устанавливаемые на морских, речных судах и других плавучих средствах (кроме драг).
7. Сосуды, устанавливаемые на самолетах и других летательных аппаратах.
8. Воздушные резервуары тормозного оборудования подвижного состава железнодорожного транспорта, автомобилей и других средств передвижения.
9. Сосуды специального назначения военного ведомства.
10. Приборы парового и водяного отопления.
11. Трубчатые печи.
12. Сосуды, состоящие из труб с внутренним диаметром не более 150 мм без коллекторов, а также с коллекторами, выполненными из труб с внутренним диаметром не более 150 мм.

Проекты сосудов и их элементов (в том числе запасных частей к ним), а также проекты их монтажа или реконструкции должны выполняться организациями, имеющими разрешение (лицензию) органов Ростехнадзора России на

проведение соответствующих работ, полученное в соответствии с «Положением о порядке выдачи специальных разрешений (лицензий) на виды деятельности, связанные с повышенной опасностью промышленных производств (объектов) и работ, а также с обеспечением безопасности при пользовании недрами». Проекты и технические условия на изготовление сосудов должны согласовываться и утверждаться в установленном порядке. Отступление от настоящего порядка может быть допущено лишь в исключительном случае по разрешению Ростехнадзора России. Для получения разрешения необходимо представить Ростехнадзору России соответствующее обоснование, а в случае необходимости – также заключение специализированной научно-исследовательской или экспертной организации.

Соответствие сосуда требованиям должно быть подтверждено изготовителем (поставщиком) оборудования сертификатом соответствия, выданным сертификационным центром. Копия сертификата соответствия прилагается к паспорту сосуда.

О каждой аварии, смертельном или групповом несчастном случае, которые связаны с обслуживанием сосудов, работающих под давлением, зарегистрированных в органах Ростехнадзора, их владелец обязан уведомить орган Ростехнадзора и другие организации в соответствии с порядком, установленным Ростехнадзором России.

До прибытия представителя Ростехнадзора для расследования обстоятельств и причин аварии или несчастного случая администрация организации обязана обеспечить сохранность всей обстановки аварии (несчастного случая), если это не представляет опасности для жизни людей и не вызывает дальнейшего развития аварии.

## **7.2. Требования к конструкции сосудов**

Конструкция сосудов должна обеспечивать надежность и безопасность эксплуатации в течение расчетного срока службы и предусматривать возможность проведения технического освидетельствования, очистки, промывки, полного опорожнения, продувки, ремонта, эксплуатационного контроля металла и соединений. Поэтому для каждого сосуда должен быть установлен и указан в паспорте расчетный срок службы с учетом условий эксплуатации.

Устройства, препятствующие наружному и внутреннему осмотрам сосудов (мешалки, змеевики, рубашки, тарелки, перегородки и другие приспособления), должны быть, как правило, съемными. При применении приварных устройств должна быть предусмотрена возможность их удаления для проведения осмотров и последующей установки на место. Порядок съема и установки этих устройств должен быть указан в инструкции по монтажу и эксплуатации сосуда.

На каждом сосуде должен быть предусмотрен вентиль, кран или другое устройство, позволяющее осуществлять контроль за отсутствием давления в сосуде перед его открыванием; при этом отвод среды должен быть направлен в безопасное место.

Все сосуды должны быть снабжены необходимым количеством люков и смотровых лючков, обеспечивающих осмотр, очистку и ремонт сосудов, а также монтаж и демонтаж разборных внутренних устройств, а сосуды, которые в процессе эксплуатации изменяют свое положение в пространстве, должны иметь приспособления, предотвращающие их самопрокидывание.

Конструкция сосудов, обогреваемых горячими газами, должна обеспечивать надежное охлаждение стенок, находящихся под давлением, до расчетной температуры. Установки воздухоотборников, холодильников воздуха и других сосудов, рабочей средой которых является сжатый воздух, должны удовлетворять требованиям «Правил устройства и безопасной эксплуатации воздушных компрессоров и воздухопроводов». Заземление и электрическое оборудование сосудов должны соответствовать «Правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правилам техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

При сварочных работах должны выполняться стыковые швы с полным проплавлением. Также допускаются сварные соединения в тавр и угловые с полным проплавлением для приварки плоских днищ, плоских фланцев, трубных решеток, штуцеров, люков, рубашек. Применение нахлесточных сварных швов допускается для приварки к корпусу укрепляющих колец, опорных элементов, подкладных листов, пластин под площадки, лестницы, кронштейны и т.п. Все сварные швы должны быть доступны для контроля при изготовлении, монтаже и эксплуатации сосудов. Сварочные материалы, применяемые для сварки сосудов, должны соответствовать требованиям стандартов и технических условий, что должно подтверждаться сертификатом организации-изготовителя.

К сварочным работам допускаются сварщики, аттестованные в соответствии с «Правилами аттестации сварщиков» и имеющие удостоверение установленной формы, при этом они могут производить сварочные работы только тех видов, которые указаны в их удостоверении.

Контроль качества сварки и сварных соединений включает:

- проверку аттестации персонала;
- проверку сборочно-сварочного, термического и контрольного оборудования, аппаратуры, приборов и инструментов;
- контроль качества основных материалов;
- контроль качества сварочных материалов и материалов для дефектоскопии;
- операционный контроль технологии сварки;
- неразрушающий контроль качества сварных соединений;
- разрушающий контроль качества сварных соединений;
- контроль исправления дефектов.

Для установления методов и объемов контроля сварных соединений необходимо определить группу сосуда в зависимости от расчетного давления, температуры стенки и характера среды.

В процессе изготовления сосудов должны проверяться:

- соответствие металла свариваемых деталей и сварочных материалов требованиям нормативной документации (НД);
- соответствие качества подготовки кромок и сборки под сварку требованиям действующих стандартов и чертежей;
- соблюдение технологического процесса сварки и термической обработки, разработанной в соответствии с требованиями НД.

Основными видами неразрушающего контроля металла и сварных соединений являются:

- визуальный и измерительный;
- радиографический;
- ультразвуковой;
- радиоскопический (допускается применять только по инструкции, согласованной с Ростехнадзором России);
- стилоскопирование;
- измерение твердости;
- гидравлические испытания;
- пневматические испытания.

Кроме этого, могут применяться другие методы (акустическая эмиссия, магнитография, цветная дефектоскопия, определение содержания в металле шва ферритной фазы и др.) в соответствии с ТУ организации-изготовителя. Контроль материалов и сварных соединений неразрушающими методами должен проводиться организациями, имеющими разрешение (лицензию) органов Госгортехнадзора России на выполнение этих работ. При разрушающем контроле должны проводиться испытания механических свойств, металлографические исследования и испытания на стойкость против межкристаллитной коррозии.

Приемочный контроль изделия, сборочных единиц и сварных соединений должен выполняться после окончания всех технологических операций, связанных с термической обработкой, деформированием и наклепом металла. Визуальный и измерительный контроль, а также стилоскопирование должны предшествовать контролю другими методами. Визуальному и измерительному контролю подлежат все сварные соединения сосудов и их элементов с целью выявления в них следующих дефектов:

- трещин всех видов и направлений;
- свищей и пористости наружной поверхности шва;
- подрезов;
- наплывов, прожогов, незаплавленных кратеров;
- смещения и совместного увода кромок свариваемых элементов свыше норм, предусмотренных ПБ 03– 576– 03;
- непрямолинейность соединяемых элементов;
- несоответствие формы и размеров швов требованиям технической документации.

Результаты по каждому виду контроля должны фиксироваться в отчетной документации (журналах, формулярах, протоколах, маршрутных паспортах и т.д.).

Гидравлическому испытанию подлежат все сосуды после их изготовления. Сосуды, изготовление которых заканчивается на месте установки, транспортируемые на место монтажа частями, подвергаются гидравлическому испытанию на месте монтажа.

Гидравлическое испытание сосудов, за исключением литых, должно проводиться пробным давлением  $P$ , определяемым по формуле

$$P_{\text{пр}} = 1,25 \cdot P_p \frac{[\sigma_{20}]}{[\sigma_t]}, \quad (41)$$

где  $P$  – расчетное давление сосуда, МПа;  $[\sigma]_{20}$ ,  $[\sigma]_t$  – допускаемые напряжения для материала сосуда или его элементов соответственно при 20°C и расчетной температуре, МПа.

Отношение  $\frac{[\sigma_{20}]}{[\sigma_t]}$  принимается по тому из использованных материалов элементов (обечаек, днищ, фланцев, крепежа, патрубков и др.) сосуда, для которого оно является наименьшим.

Гидравлическое испытание деталей, изготовленных из литья, должно проводиться пробным давлением, определяемым по формуле

$$P_{\text{пр}} = 1,5 \cdot P_p \frac{[\sigma_{20}]}{[\sigma_t]}. \quad (42)$$

Испытание отливок разрешается проводить после сборки и сварки в собранном узле или готовом сосуде пробным давлением, принятым для сосудов, при условии 100% контроля отливок неразрушающими методами.

Гидравлические испытания сосудов и деталей, изготовленных из неметаллических материалов с ударной вязкостью более 20 Дж/см<sup>2</sup>, должны производиться пробным давлением, определяемым по формуле

$$P_{\text{пр}} = 1,3 \cdot P_p \frac{[\sigma_{20}]}{[\sigma_t]}. \quad (43)$$

Гидравлическое испытание сосудов и деталей, изготовленных из неметаллических материалов с ударной вязкостью 20 и менее Дж/см<sup>2</sup> (2 кгс·м/см<sup>2</sup>), должно производиться пробным давлением, определяемым по формуле

$$P_{\text{пр}} = 1,6 \cdot P_p \frac{[\sigma_{20}]}{[\sigma_t]}. \quad (44)$$

Гидравлическое испытание криогенных сосудов при наличии вакуума в изоляционном пространстве должно проводиться пробным давлением, определяемым по формуле

$$P_{\text{пр}} = 1,25 P - 0,1 \text{ (МПа)}. \quad (45)$$

Гидравлические испытания металлопластиковых сосудов должны производиться пробным давлением, определяемым по формуле

$$P_{\text{пр}} = [1,25 K_M + \alpha (1 - K_M)] P [\sigma]_{20} / [\sigma]_t, \quad (46)$$

где  $K_M$  – отношение массы металлоконструкции к общей массе сосуда;  $\alpha = 1,3$  – для неметаллических материалов с ударной вязкостью 20 Дж/см<sup>2</sup> и более;  $\alpha = 1,6$  – для неметаллических материалов с ударной вязкостью 20 Дж/см<sup>2</sup> и менее.

Для гидравлического испытания сосудов должна применяться вода с температурой не ниже 5°C и не выше 40°C, если в технических условиях не указано конкретное значение температуры, допускаемой по условию предотвращения хрупкого разрушения. Разность температур стенки сосуда и окружающего воздуха во время испытаний не должна вызывать конденсации влаги на поверхности стенок сосуда. По согласованию с разработчиком проекта сосуда вместо воды может быть использована другая жидкость.

Давление в испытываемом сосуде следует повышать плавно. Скорость подъема давления должна быть указана: для испытания сосуда в организации-изготовителе – в технической документации, для испытания сосуда в процессе работы – в инструкции по монтажу и эксплуатации. Использование сжатого воздуха или другого газа для подъема давления не допускается.

Давление при испытании должно контролироваться двумя манометрами. Оба манометра выбираются одного типа, предела измерения, одинаковых классов точности, цены деления. Время выдержки сосуда под пробным давлением устанавливается разработчиком проекта. При отсутствии указаний в проекте время выдержки должно быть не менее значений, указанных в табл. 6. После выдержки под пробным давлением давление снижается до расчетного, при котором производят осмотр наружной поверхности сосуда, всех его разъемных и сварных соединений.

Сосуд считается выдержавшим гидравлическое испытание, если не обнаружено:

- течи, трещин, слезок, потения в сварных соединениях и на основном металле;
- течи в разъемных соединениях;
- видимых остаточных деформаций, падения давления по манометру.

Таблица 6.

Время выдержки сосуда под пробным давлением	
Толщина стенки сосуда, мм	Время выдержки, мин
<50	10
50 – 100	20
>100	30
Для литых неметаллических и многослойных сосудов независимо от толщины стенки	60

Каждый сосуд должен поставляться изготовителем заказчику с паспортом установленной формы. К паспорту должна быть приложена инструкция по монтажу и эксплуатации. Элементы сосудов (корпуса, обечайки, днища, крышки, трубные решетки, фланцы корпуса, укрупненные сборочные единицы), предназначенные для реконструкции или ремонта, должны поставляться изготовителем с удостоверением о качестве изготовления, содержащим сведения в объеме согласно требованиям соответствующих разделов паспорта.

На каждом сосуде должна быть прикреплена табличка, выполненная в соответствии с ГОСТ 12971. На табличке должны быть нанесены:

- товарный знак или наименование изготовителя;



- наименование или обозначение сосуда;
- порядковый номер сосуда по системе нумерации изготовителя;
- год изготовления;
- рабочее давление, МПа;
- расчетное давление, МПа;
- пробное давление, МПа;
- допустимая максимальная и (или) минимальная рабочая температура стенки, °С;
- масса сосуда, кг.

Для управления работой и обеспечения безопасных условий эксплуатации сосуда в зависимости от назначения должны быть оснащены:

- а) запорной или запорно-регулирующей арматурой;
- б) приборами для измерения давления;
- в) приборами для измерения температуры;
- г) предохранительными устройствами;
- д) указателями уровня жидкости.

При регулировании уровня жидкости в разделителях жидкости, сепараторах, абсорберах и адсорберах используют стальной сварной запорный клапан с мембранным пневматическим исполнительным механизмом, используемый в качестве регулирующего клапана.

Для снижения давления сжиженных углеводородных газов в бытовых и промышленных установках от 0,2 МПа до 3 КПа используется регулятор давления баллонный «Балтика–1». Он выполнен как насадка на запорно-регулирующий клапан и удерживается на нем при помощи шарикового замка.

Железнодорожные и автомобильные цистерны с наиболее пожароопасными жидкостями (бензин, керосин, сжиженные газы) снабжаются пружинными предохранительными клапанами. Для повышения герметичности в некоторых конструкциях предохранительных клапанов предусматривается разрывная мембрана, которая до определенного (расчетного) давления полностью изолирует полость цистерны от окружающего воздуха, и только после разрыва мембраны срабатывает предохранительный клапан.

Запорная и запорно-регулирующая арматура должна устанавливаться на штуцерах, непосредственно присоединенных к сосуду или на трубопроводах, подводящих к сосуду и отводящих из него рабочую среду. Арматура должна иметь следующую маркировку:

- наименование или товарный знак изготовителя;
- условный проход, мм;
- условное давление, МПа (допускается указывать рабочее давление и допустимую температуру);
- направление потока среды;
- марку материала корпуса.

На маховике запорной арматуры должно быть указано направление его вращения при открывании или закрывании. Сосуды для взрывоопасных, пожароопасных веществ, веществ 1-го и 2-го классов опасности, а также испарители

с огневым или газовым обогревом должны иметь на подводящей линии от насоса или компрессора обратный клапан, автоматически закрывающийся давлением из сосуда. Обратный клапан должен устанавливаться между насосом (компрессором) и запорной арматурой сосуда.

Каждый сосуд и самостоятельные полости с разными давлениями должны быть снабжены манометрами прямого действия. Манометр устанавливается на штуцере сосуда или трубопроводе между сосудом и запорной арматурой. Манометры должны иметь класс точности не ниже: 2,5 – при рабочем давлении сосуда до 2,5 МПа, 1,5 – при рабочем давлении сосуда свыше 2,5 МПа.

Шкала манометра выбирается такой, чтобы предел измерения рабочего давления находился во второй трети шкалы, на ней также должна быть красная черта, указывающая рабочее давление в сосуде. Взамен красной черты разрешается прикреплять к корпусу манометра металлическую пластину, окрашенную в красный цвет и плотно прилегающую к стеклу манометра.

Манометр не допускается к применению в случаях, когда:

- отсутствует пломба или клеймо с отметкой о проведении поверки;
- просрочен срок поверки;
- стрелка при его отключении не возвращается к нулевому показанию шкалы на величину, превышающую половину допускаемой погрешности для данного прибора;
- разбито стекло или имеются повреждения, которые могут отразиться на правильности его показаний.

Поверка манометров с их опломбированием или клеймением должна производиться не реже одного раза в 12 месяцев. Кроме того, не реже одного раза в 6 месяцев владельцем сосуда должна производиться дополнительная проверка рабочих манометров контрольным манометром с записью результатов в журнал контрольных проверок. При отсутствии контрольного манометра допускается дополнительную проверку производить проверенным рабочим манометром, имеющим с проверяемым манометром одинаковую шкалу и класс точности. Порядок и сроки проверки исправности манометров обслуживающим персоналом в процессе эксплуатации сосудов должны определяться «Инструкцией по режиму работы и безопасному обслуживанию сосудов», утвержденной руководством организации – владельца сосуда.

Сосуды, работающие при изменяющейся температуре стенок, должны быть снабжены приборами для контроля скорости и равномерности прогрева по длине и высоте сосуда и реперами для контроля тепловых перемещений.

В качестве предохранительных устройств от повышения давления выше допустимого значения, применяются:

- пружинные предохранительные клапаны;
- рычажно-грузовые предохранительные клапаны;
- импульсные предохранительные устройства (ИПУ), состоящие из главного предохранительного клапана (ГПК) и управляющего импульсного клапана (ИПК) прямого действия;

- предохранительные устройства с разрушающимися мембранами (мембранные предохранительные устройства – МПУ);
- другие устройства, применение которых согласовано с Ростехнадзором России.

Количество предохранительных клапанов, их размеры и пропускная способность должны быть выбраны по расчету так, чтобы в сосуде не создавалось давление, превышающее избыточное рабочее более чем на 0,05 МПа для сосудов с давлением до 0,3 МПа, на 15% – для сосудов с давлением от 0,3 до 6,0 МПа и на 10% – для сосудов с давлением свыше 6,0 МПа.

При работающих предохранительных клапанах допускается превышение давления в сосуде не более чем на 25% рабочего при условии, что это превышение предусмотрено проектом и отражено в паспорте сосуда.

Предохранительные устройства должны устанавливаться на патрубках или трубопроводах, непосредственно присоединенных к сосуду. Присоединительные трубопроводы предохранительных устройств (подводящие, отводящие и дренажные) должны быть защищены от замерзания в них рабочей среды.

При установке на одном патрубке (трубопроводе) нескольких предохранительных устройств, площадь поперечного сечения патрубка (трубопровода) должна быть не менее 1,25 суммарной площади сечения клапанов, установленных на нем.

При необходимости контроля уровня жидкости в сосудах, имеющих границу раздела сред, должны применяться указатели уровня. Кроме указателей уровня, на сосудах могут устанавливаться звуковые, световые и другие сигнализаторы и блокировки по уровню. На сосудах, обогреваемых пламенем или горячими газами, у которых возможно понижение уровня жидкости ниже допустимого, должно быть установлено не менее двух указателей уровня прямого действия.

На каждом указателе уровня жидкости должны быть отмечены допустимые верхний и нижний уровни, они устанавливаются разработчиком проекта. Высота прозрачного указателя уровня жидкости должна быть не менее чем на 25 мм соответственно ниже нижнего и выше верхнего допустимых уровней жидкости.

Сосуды должны устанавливаться на открытых площадках, в местах исключающих скопление людей или в отдельно стоящих зданиях. Допускается установка сосудов:

- в помещениях, примыкающих к производственным зданиям, при условии отделения их от здания капитальной стеной;
- в производственных помещениях в случаях, предусмотренных отраслевыми правилами безопасности;
- с заглублением в грунт при условии обеспечения доступа к арматуре и защиты стенок сосуда от почвенной коррозии и коррозии блуждающими токами.

Не разрешается установка в жилых, общественных и бытовых зданиях, а также в примыкающих к ним помещениях.

Разрешение на ввод в эксплуатацию сосудов, работающих под давлением, выдается после удовлетворительных результатов технического освидетельствования: на сосуды, подлежащие регистрации в Ростехнадзоре, – его местными органами; на сосуды, не подлежащие регистрации в Ростехнадзоре, – бюро (отделом) по надзору предприятия.

Все сосуды, регистрируемые в органах Ростехнадзора и на предприятии, учитываются в специальной книге учета и освидетельствования сосудов.

Книга эта хранится у начальника бюро (отдела) по надзору предприятия и предъявляется при контроле лицам, инспектирующим предприятие.

Для регистрации сосудов в органах Ростехнадзора предприятие представляет следующие документы:

- а) паспорт сосуда установленной формы;
- б) удостоверение о качестве монтажа. В удостоверении должны быть приведены следующие данные:
  - наименование монтажной организации;
  - наименование организации — владельца сосуда;
  - наименование организации– изготовителя и заводской номер сосуда;
  - сведения о материалах, примененных монтажной организацией, дополнительно к указанным в паспорте;
  - сведения о сварке, включающие вид сварки, тип и марку электродов, о термообработке, режиме термообработки и диаграммы;
  - фамилии сварщиков и термистов и номера их удостоверений;
  - результаты испытаний контрольных стыков (образцов), а также результаты неразрушающего дефектоскопического контроля стыков;
  - заключение о соответствии произведенных монтажных работ сосуда ПБ 03– 576– 03, проекту, техническим условиям и инструкции по монтажу и пригодности его к эксплуатации при указанных в паспорте параметрах;
  - копия разрешения на монтаж сосуда органов Ростехнадзора России;
- в) схема включения сосуда с указанием источника давления, параметров, его рабочей среды, арматуры, контрольно–измерительных приборов, средств автоматического управления, предохранительных и блокирующих устройств. Схема должна быть утверждена руководством организации;
- г) паспорт предохранительного клапана с расчетом его пропускной способности.

Эти документы после регистрации сосудов и присвоения им регистрационных номеров возвращаются предприятию.

Если же сосуд будет передан другому предприятию, он снова, до пуска в работу, должен быть зарегистрирован в приведенном выше порядке.

### 7.3. Дополнительные требования к цистернам и бочкам для перевозки сжиженных газов

У железнодорожной цистерны в верхней ее части должны быть устроены люк диаметром не менее 450 мм и помост около люка с металлическими лестницами по обе стороны цистерны, снабженными поручнями. У каждой автоцистерны должен быть устроен люк овальной формы размером по осям не менее 400x450 мм или круглый люк диаметром не менее 450 мм. Для автоцистерны вместимостью до 3000 л люк овальной формы разрешается выполнять размером по осям не менее 300x400 мм, а круглой формы – диаметром не менее 400 мм.

На цистернах и бочках изготовитель должен наносить клеймением следующие паспортные данные:

- наименование изготовителя или его товарный знак;
- номер цистерны (бочки);
- год изготовления и дату освидетельствования;
- вместимость (для цистерн – в м<sup>3</sup>; для бочек – в л);
- массу цистерны в порожнем состоянии без ходовой части (т) и массу бочки (кг);
- величину рабочего и пробного давления;
- клеймо ОТК изготовителя;
- дату проведенного и очередного освидетельствования.

На цистернах клейма должны наноситься по окружности фланца для люка, а на бочках – на днищах, где располагается арматура.

Окраска цистерн и бочек, а также нанесение полос и надписей на них должны производиться в соответствии с государственными стандартами, техническими условиями на изготовление для новых цистерн и бочек изготовителем, а для цистерн и бочек, находящихся в эксплуатации, – наполнителем.

Цистерны должны быть оснащены:

- вентилями с сифонными трубками для слива и налива среды;
- вентилем для выпуска паров из верхней части цистерны;
- пружинным предохранительным клапаном;
- штуцером для подсоединения манометра;
- указателем уровня жидкости.

Организации, осуществляющие наполнение, и наполнительные станции обязаны вести журнал наполнения по установленной администрацией форме, в котором, в частности, должны быть указаны:

- дата наполнения;
- наименование изготовителя цистерны и бочек;
- заводской и регистрационный номера для цистерн и заводской номер для бочек;
- подпись лица, производившего наполнение.

При наполнении наполнительной станцией цистерн и бочек различными газами администрация должна вести по каждому газу отдельный журнал

наполнения. Цистерны и бочки можно заполнять только тем газом, для перевозки и хранения которого они предназначены.

Запрещается наполнять газом неисправные цистерны или бочки, а также если:

- истек срок назначенного освидетельствования;
- отсутствуют или неисправны арматура и контрольно– измерительные приборы;
- отсутствует надлежащая окраска или надписи;
- в цистернах или бочках находится не тот газ, для которого они предназначены.

Потребитель, опорожня цистерны, бочки, обязан оставлять в них избыточное давление газа не менее 0,05 МПа. Наполнение цистерн и бочек сжиженными газами должно соответствовать нормам, указанным в табл. 7.

Таблица 7

Нормы наполнения цистерн и бочек сжиженными газами

Газ	Плотность газа, кг/л, не более	Удельный объем газа, л/кг, не менее
Азот	0,770	1,30
Аммиак	0,570	1,76
Бутан	0,488	2,05
Бутилен	0,526	1,90
Пропан	0,425	2,35
Пропилен	0,445	2,25
Фосген, хлор	1,250	0,80
Кислород	1,080	0,93

#### 7.4. Эксплуатация баллонов

Основные причины взрывов и пожаров:

- низкое качество изготовления баллонов;
- заполнение их сжиженными газами сверх установленных норм;
- пребывание их в зоне высоких температур;
- эксплуатация с недопустимым утонением стенки от коррозии;
- нарушение Правил безопасности при хранении, транспортировке баллонов и использовании содержащихся в них газов;
- толчки, удары, падения баллонов;
- их перегревание; загрязнение вентилей маслами;
- слишком быстрое их открывание и другие причины.

Аварии баллонов со сжатым кислородом возможны из-за попадания масел в выходные отверстия и воспламенения при выходе кислорода, а также из-за имевшихся в баллоне частиц окалины, загрязнения органическими веществами внутренней части баллонов, падения баллонов на металлические или другие предметы, нагрева баллонов и других нарушений.

Баллоны с газом, устанавливаемые в помещениях, должны находиться на расстоянии не менее 1 м от радиаторов отопления и других отопительных при-

боров и печей и не менее 5 м от источников тепла с открытым огнем. При эксплуатации баллонов находящийся в них газ запрещается расходовать полностью. Остаточное давление газа в баллоне должно быть не менее 0,05 МПа (0,5 кг/см<sup>2</sup>).

Наполнение баллонов газами должно производиться по инструкции, разработанной и утвержденной организацией в установленном порядке с учетом свойств газа, местных условий и требований типовой инструкции по наполнению баллонов газами. Наполнение баллонов сжиженными газами должно соответствовать нормам.

Запрещается наполнять газом баллоны, у которых:

- истек срок назначенного освидетельствования;
- истек срок проверки пористой массы;
- поврежден корпус баллона;
- неисправны вентили;
- отсутствуют надлежащая окраска или надписи;
- отсутствует избыточное давление газа;
- отсутствуют установленные клейма.

Склады для хранения баллонов, наполненных газами, должны быть одноэтажными с покрытиями легкого типа и не иметь чердачных помещений. Стены, перегородки, покрытия складов для хранения газов должны быть из несгораемых материалов не ниже II степени огнестойкости; окна и двери должны открываться наружу. Оконные и дверные стекла должны быть матовые или закрашены белой краской. Высота складских помещений для баллонов должна быть не менее 3,25 м от пола до нижних выступающих частей кровельного покрытия. Полы складов должны быть ровные с нескользкой поверхностью, а складов для баллонов с горючими газами – с поверхностью из материалов, исключающих искрообразование при ударе о них какими-либо предметами.

Склады для баллонов, наполненных газом, должны иметь естественную или искусственную вентиляцию в соответствии с требованиями санитарных норм проектирования. Склады для баллонов с взрыво- и пожароопасными газами должны находиться в зоне молниезащиты. Складское помещение должно быть разделено несгораемыми стенами на отсеки, в каждом из которых допускается хранение не более 500 баллонов (40 л) с горючими или ядовитыми газами и не более 1000 баллонов (40 л) с негорючими и неядовитыми газами. Отсеки для хранения баллонов с негорючими и неядовитыми газами могут быть отделены несгораемыми перегородками высотой не менее 2,5 м с открытыми проемами для прохода людей и проемами для средств механизации. Каждый отсек должен иметь самостоятельный выход наружу.

Перемещение баллонов в пунктах наполнения и потребления газов должно производиться на специально приспособленных для этого тележках или при помощи других устройств. Перевозка наполненных газами баллонов должна производиться на рессорном транспорте или на автокарах в горизонтальном положении обязательно с прокладками между баллонами. В качестве прокладок могут применяться деревянные бруски с вырезанными гнездами для баллонов,

а также веревочные или резиновые кольца толщиной не менее 25 мм (по два кольца на баллон) или другие прокладки, предохраняющие баллоны от ударов друг о друга. Все баллоны во время перевозки должны укладываться вентилями в одну сторону. Разрешается перевозка баллонов в специальных контейнерах, а также без контейнеров в вертикальном положении обязательно с прокладками между ними и ограждением от возможного падения. Перевозка баллонов автомобильным, железнодорожным, водным и воздушным транспортом должна производиться согласно правилам соответствующих министерств и ведомств.

Баллоны должны рассчитываться и изготавливаться по НД, согласованной с Ростехнадзором России. На баллоны вместимостью более 100 л должны устанавливаться предохранительные клапаны. При групповой установке баллонов допускается установка предохранительного клапана на всю группу баллонов.

Баллоны для растворенного ацетилена должны быть заполнены соответствующим количеством пористой массы и растворителя. После заполнения баллонов пористой массой и растворителем на его горловине выбивается масса тары (масса баллона без колпака, но с пористой массой и растворителем, башмаком, кольцом и вентилем).

Наружная поверхность баллонов должна быть окрашена в соответствии с табл. 8. Надписи на баллонах наносят по окружности на длину не менее 1/3 окружности, а полосы – по всей окружности.

Освидетельствование баллонов, за исключением баллонов для ацетилена, включает:

- осмотр внутренней за исключением баллонов для сжиженного углеводородного газа (пропан-бутана) вместимостью до 55 л и наружной поверхности баллонов;
- проверку массы и вместимости;
- гидравлическое испытание.

Проверка массы и вместимости бесшовных баллонов до 12 л включительно и свыше 55 л, а также сварных баллонов, независимо от вместимости, не производится.

Результаты освидетельствования баллонов, за исключением баллонов для ацетилена, записываются лицом освидетельствовавшим баллоны в журнал испытаний, имеющий, в частности, следующие графы:

1. Товарный знак изготовителя.
2. Номер баллона.
3. Дата (месяц, год) изготовления баллона.
4. Дата произведенного и следующего освидетельствования.
5. Масса, выбитая на баллоне, кг.
6. Масса баллона, установленная при освидетельствовании, кг.
7. Вместимость баллона, выбитая на баллоне, л.
8. Вместимость баллона, определенная при освидетельствовании, л.
9. Рабочее давление,  $P_p$ , МПа (кг/см<sup>2</sup>).
10. Отметка о пригодности баллона.
11. Подпись лица, производившего освидетельствование баллонов.



Окраска наружной поверхности баллонов

Газ	Окраска баллонов	Текст надписи	Цвет надписи	Цвет полосы
Азот	Черная	Азот	Желтая	Коричневый
Аммиак	Желтая	Аммиак	Черная	–
Аргон сырой	Черная	Аргон сырой	Белый	Белый
Аргон технический	Черная	Аргон технический	Синий	Синий
Аргон чистый	Серая	Аргон чистый	Зеленый	Зеленый
Ацетилен	Белая	Ацетилен	Красный	–
Бутилен	Красная	Бутилен	Желтый	Черный
Нефтегаз	Серая	Нефтегаз	Красный	–
Бутан	Красная	Бутан	Белый	–
Водород	Темно-зеленая	Водород	Красный	–
Воздух	Черная	Сжатый воздух	Белый	–
Гелий	Коричневая	Гелий	Белый	–
Закись азота	Серая	Закись азота	Черная	–
Кислород	Голубая	Кислород	Черная	–
Кислород медицинский	Голубая	Кислород медицинский	Черная	–
Сероводород	Белая	Сероводород	Красный	Красный
Сернистый ангидрид	Черная	Сернистый ангидрид	Белый	Желтый
Углекислота	Черная	Углекислота	Желтый	–
Фосген	Защитная	–	–	Красный
Фреон-11	Алюминиевая	Фреон-11	Черная	Синий
Фреон-12	Алюминиевая	Фреон-12	Черная	–
Фреон-13	Алюминиевая	Фреон-13	Черная	2 красные
Фреон-22	Алюминиевая	Фреон-22	Черная	2 желтые
Хлор	Защитная	Хлор	Черная	Зеленый
Циклопропан	Оранжевая	Циклопропан	Черная	–
Этилен	Фиолетовая	Этилен	Красный	–
Все другие горючие газы	Красная	Наименование газа	Белый	–
Все другие негорючие газы	Черная	Наименование газа	Желтый	–

Состояние пористой массы в баллонах для ацетилена должно проверяться на наполнительных станциях не реже чем через 24 месяца. Результаты освидетельствования баллонов для ацетилена заносят в журнал испытания, имеющий, в частности, следующие графы:

1. Номер баллона,
2. Товарный знак изготовителя.
3. Дата (месяц, год) изготовления баллона.
4. Подпись лица, производившего освидетельствование баллона.
5. Дата проведенного и следующего освидетельствования баллона.

Наполненные газом баллоны, находящиеся на длительном складском хранении, при наступлении очередных сроков периодического освидетельствования

ния подвергаются представителем администрации организации освидетельствованию в выборочном порядке в количестве не менее 5 шт. из партии до 100 баллонов, 10 шт.– из партии до 500 баллонов и 20 шт. – из партии свыше 500 баллонов. При удовлетворительных результатах освидетельствования срок хранения баллонов устанавливается лицом, производившим освидетельствование, но не более чем 2 года. Результаты выборочного освидетельствования оформляются соответствующим актом.

## 8. ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

Пожары и взрывы возникают на производственных объектах, где имеются горючие, взрывоопасные вещества и источники зажигания. На многих предприятиях в больших объемах применяют смазочные вещества, взрывоопасные и горючие газы и жидкости. В технологических процессах используются термические устройства, расплавленный металл, открытое пламя. Часто процессы сопровождаются выделением искр и тепла, что создает потенциальные предпосылки для пожаров и взрывов.

Основные определения (Федеральный закон № 69-ФЗ от 21.12.94 «О пожарной безопасности»):

- пожарная безопасность – состояние защищенности личности, имущества, общества и государства от пожаров;
- пожар – неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства;
- требования пожарной безопасности – специальные условия социального и (или) технического характера, установленные в целях обеспечения пожарной безопасности законодательством РФ, нормативными документами или уполномоченным государственным органом;
- нарушение требований пожарной безопасности – невыполнение или ненадлежащее выполнение требований пожарной безопасности;
- противопожарный режим – правила поведения людей, порядок организации производства и (или) содержания помещений (территорий), обеспечивающие предупреждение нарушений требований пожарной безопасности и тушение пожаров;
- меры пожарной безопасности – действия по обеспечению пожарной безопасности, в том числе по выполнению требований пожарной безопасности;
- пожарная охрана – совокупность созданных в установленном порядке органов управления, сил и средств, в том числе противопожарных формирований, предназначенных для организации предупреждения пожаров и их тушения, проведения связанных с ними первоочередных аварийно-спасательных работ;
- первоочередные аварийно-спасательные работы, связанные с тушением пожаров, – боевые действия пожарной охраны по спасению людей, имущества, оказанию первой доврачебной помощи пострадавшим при пожарах;
- пожарно-техническая продукция – специальная техническая, научно-техническая и интеллектуальная продукция, предназначенная для обеспечения пожарной безопасности, в том числе пожарная техника и оборудование, пожарное снаряжение, огнетушители и огнезащитные вещества, средства специальной связи и управления, программы для электронных вычислительных машин и базы данных, а также иные средства предупреждения и тушения пожаров;

–гарнизон пожарной охраны – совокупность дислоцированных на определенной территории органов управления, подразделений пожарной охраны, пожарно-технических научно-исследовательских учреждений и пожарно-технических учебных заведений, иных предназначенных для тушения пожаров противопожарных формирований независимо от их ведомственной принадлежности и форм собственности.

Классы пожаров:

А – горение твердых веществ;

В – горение жидких веществ;

С – горение газообразных веществ;

Д – горение металлов и их сплавов;

Е – горение электроустановок, находящихся под напряжением.

В зависимости от класса пожара производится выбор методов и средств его тушения.

Взрыв – быстропротекающий процесс физических и химических превращений веществ, сопровождающийся освобождением значительного количества энергии в ограниченном объеме, в результате которого в окружающем пространстве образуется и распространяется ударная волна, способная привести или приводящая к возникновению техногенной чрезвычайной ситуации. Взрыв может происходить с горением (процессом окисления) – химический взрыв или без него – физический взрыв.

### **8.1. Общие сведения о процессе горения**

Горение – химическая реакция окисления, сопровождающаяся выделением теплоты и света. Для возникновения горения требуется наличие трех факторов: горючего вещества, окислителя (обычно кислород воздуха) и источника зажигания (импульса). Окислителем может быть не только кислород, но и хлор, фтор, бром, йод, оксиды азота и т. д. В качестве горючих могут быть твердые (пылеобразные), жидкие (парообразные) и газообразные вещества. От соотношения горючего и окислителя зависит содержание продуктов горения. Соотношение горючего и окислителя, при котором ни один из компонентов не остается в избытке, называется стехиометрическим.

В зависимости от свойств горючей смеси горение бывает гомогенным и гетерогенным. При гомогенном горении исходные вещества имеют одинаковое агрегатное состояние (например, горение газов). Горение твердых и жидких горючих веществ является гетерогенным. Горение дифференцируется также по скорости распространения пламени и в зависимости от этого параметра может быть дефлаграционным (порядка десятка метров в секунду), взрывным (порядка сотни метров в секунду) и детонационным (порядка тысячи метров в секунду). Пожарам свойственно дефлаграционное горение.

В зависимости от соотношения горючего и окислителя различают процессы горения бедных и богатых горючих смесей. Бедными называются смеси, содержащие в избытке окислитель. Их горение лимитируется содержанием горючего компонента. К богатым относятся смеси с содержанием горючего выше

стехиометрического соотношения компонентов. Горение таких смесей лимитируется содержанием окислителя.

Возникновение горения связано с обязательным самоускорением реакции в системе. Существуют три основных вида самоускорения химической реакции при горении: тепловой, цепной и комбинированной – цепочно-тепловой. Тепловой механизм ускорения связан с экзотермичностью процесса окисления и возрастанием скорости химической реакции с повышением температуры при условии аккумуляции теплоты в реагирующей системе.

Цепное ускорение реакции связано с катализом химических превращений, осуществляемым промежуточными продуктами превращений, обладающими особой химической активностью и называемыми активными центрами. В соответствии с цепной теорией химический процесс происходит не путем непосредственного взаимодействия исходных молекул, а с помощью осколков, образующихся при распаде этих молекул (радикалы, атомарные частицы).

Реальные процессы горения осуществляются, как правило, по комбинированному цепочно-тепловому механизму. Процесс возникновения горения подразделяется на несколько видов.

Вспышка – быстрое сгорание горючей смеси, не сопровождающееся образованием сжатых газов.

Возгорание – возникновение горения под воздействием источника зажигания.

Воспламенение – возгорание, сопровождающееся появлением пламени.

Самовозгорание – явление резкого увеличения скорости экзотермических реакций, приводящее к возникновению горения вещества (материала, смеси) при отсутствии источника зажигания.

Самовоспламенение – самовозгорание, сопровождающееся появлением пламени.

Взрыв – чрезвычайно быстрое химическое (взрывчатое) превращение, сопровождающееся выделением энергии и образованием сжатых газов, способных производить механическую работу.

Возникновение горения вещества или материала может произойти при температуре окружающей среды ниже температуры самовоспламенения. Эта возможность обуславливается склонностью веществ или материалов к окислению и условиями аккумуляции в них теплоты, выделяющейся при окислении, что может вызвать самовозгорание. Таким образом, возникновение горения веществ и материалов при воздействии тепловых импульсов с температурой выше температуры воспламенения (или самовозгорания) характеризуется как возгорание, а возникновение горения при температурах ниже температуры самовоспламенения относится к процессу самовозгорания. В зависимости от импульса процессы самовозгорания подразделяют на тепловые, микробиологические и химические.

## 8.2. Причины пожаров и их воздействие на людей

Обычно возникновению пожаров и взрывов предшествует стадия накопления ошибок в объемно-планировочных решениях, недостатков технологии и отклонений от технологических режимов, дефектов оборудования, нарушений противопожарных и санитарных норм, недостаточного контроля за организацией труда, действиями персонала и др. Их совокупность формирует обстоятельства, способствующие переходу потенциальных опасностей возникновения пожаров и взрывов в реальные. В среднем риск смертельного травматизма от пожара соответствует  $R = 4 \cdot 10^{-5}$  на человека в год, а основными причинами пожаров и взрывов, например, на машиностроительных предприятиях являются:

- нарушения технологического режима (33%);
- неисправность электрооборудования (16%);
- плохая подготовка оборудования к ремонту (13%);
- самовозгорание материалов (10%);
- износ и коррозия оборудования (8%);
- конструктивные недостатки оборудования (7%);
- неисправность запорной арматуры и отсутствие заглушек на ремонтируемых или законсервированных аппаратах и трубопроводах (6%);
- сварочные работы (4%);
- ремонт оборудования на ходу (2%);
- реконструкция установок с отклонением от технологических схем (1%).

От пожаров и взрывов разрушаются производственные, общественные и бытовые объекты, памятники культуры, истории архитектуры, гибнут и получают увечья люди, наносится большой вред окружающей природной среде. Так, ущерб от взрывов и пожаров в РФ составляет примерно 0,9% валового внутреннего продукта.

Как показывает практика, наибольшее количество пожаров возникает в результате нарушений правил пожарной безопасности: случаи неосторожного обращения с огнем, с открытыми источниками зажигания, в том числе небрежность, допускаемая при курении и пользовании электробытовыми приборами; нарушение правил пожарной безопасности при производстве электрогазосварочных работ и других огневых работ, при эксплуатации систем отопления, машин и оборудования; неисправное состояние электропроводки и электроприборов; неправильное хранение веществ и материалов и т.п. Нередко имеют место пожары, возникающие в результате умышленных действий – поджогов. В отдельных случаях причиной возникновения пожаров может быть проявление сил природы: грозные разряды молний, повышенная радиация солнечных лучей и т.д.

При пожарах для людей представляют опасность следующие факторы:

а) первичные:

- открытый огонь и искры;
- повышенная температура окружающей среды и предметов;
- токсичные продукты горения и термического разложения;

- дым;
- пониженная концентрация кислорода;
- б) вторичные:
  - осколки, части разрушившихся аппаратов, агрегатов, установок, конструкций;
  - электрический ток, возникший в результате выноса высокого напряжения на токопроводящие части конструкций, аппаратов, агрегатов;
  - опасные факторы взрыва, происшедшего вследствие пожара;
  - огнетушащие средства.

Воздействие открытого огня на кожу человека характеризуется интенсивностью теплового потока, которую рассчитывают согласно НПБ 107-97.

Повышенная температура воздуха может вызвать разной тяжести ожоговые поражения дыхательных путей и кожи человека.

Повышенная интенсивность теплового потока и температура воздуха могут вызвать ожоги кожного покрова, дыхательных путей и ожоговый шок (возбуждение или заторможенность вплоть до спутанного сознания или его потери).

Токсичные продукты горения, выделяющиеся при пожарах, содержат от 50 до 100 химических соединений, которые могут оказывать токсическое воздействие на человека. К наиболее токсичным и часто встречающимся относятся оксид углерода СО и диоксид углерода СО<sub>2</sub>. Опасность СО заключается в том, что он в 200 – 300 раз лучше, чем кислород, взаимодействует с гемоглобином крови, образуя при этом карбоксигемоглобин СОН<sub>3</sub>. При этом наступает кислородное голодание.

За предельный уровень содержания СО принимают объемную долю 0,1%, которая в результате воздействия в течение 60 мин приводит к образованию 40% СОН<sub>3</sub> в крови человека.

Опасность СО<sub>2</sub> заключается в том, что она замещает кислород в крови, ускоряет дыхание, приводит к ингаляции большого количества других газов в опасных концентрациях. За предельно допустимое содержание СО<sub>2</sub> с некоторым запасом принимается объемная доля 6 %.

Дым – это мельчайшие твердые частицы, взвешенные смеси продуктов сгорания с воздухом. Объем образующегося дыма (м<sup>3</sup>) при сгорании 1кг веществ различен: древесины – 4,9; ацетона – 8,1; резины – 10,8; бензина –12,6; керосина –12,8. В задымленных помещениях резко снижается видимость.

Пониженная концентрация кислорода О<sub>2</sub> во вдыхаемом воздухе при пожарах даже при отсутствии токсичных продуктов горения может препятствовать эвакуации и привести к гибели людей. За предельно допустимый уровень принимается объемная доля кислорода 17%, при которой ухудшаются двигательные функции, происходит нарушение мускульной координации, затруднение мышления и притупление внимания.

### **8.3. Воздействие взрывов на людей, здания и сооружения**

К поражающим факторам взрыва относятся ударная волна, давление во фронте которой превышает допустимое значение, пламя и пожары, обрушение

оборудования, коммуникаций, конструкций зданий и сооружений и их осколки, выход из поврежденных аппаратов содержащихся в них вредных веществ и присутствие их в воздухе в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации.

Для защиты оборудования и уменьшения последствий взрывов используют повышенной прочности аппараты и технологические блоки, взрывоподавление и взрыворазгрузку.

Повышенной прочности аппараты и технологические блоки применяют для того, чтобы они выдерживали максимальное избыточное давление взрыва. Этот метод очень дорог, поэтому его используют в исключительных случаях, в основном для аппаратов и блоков незначительного объема.

Взрывоподавление включает в себя быстродействующий датчик раннего обнаружения взрыва и быстрое введение в защищаемый аппарат ингибитора (взрывоподавляющего состава), приостанавливающего дальнейший процесс развития взрыва.

Взрыворазгрузку осуществляют путем устройства взрывных клапанов, мембран, легкобрасываемых конструкций, которые вскрываются при повышении определенного давления и сбрасывают избыточные газы в атмосферу. В качестве легкобрасываемых конструкций используют остекление окон и фонарей, конструкции покрытия. Площадь легкобрасываемых конструкций должна составлять не менее 0,05 м<sup>2</sup> на 1 м<sup>3</sup> объема помещения категории А и не менее 0,03 м<sup>2</sup> помещения категории Б. Оконное стекло относится к легкобрасываемым конструкциям при толщине 3, 4, 5 мм и площади не менее (соответственно) 0,9; 1; 1,5 м<sup>2</sup>. Армированное стекло к легкобрасываемым конструкциям не относится.

#### **8.4. Показатели пожаровзрывоопасности веществ и материалов**

Пожаровзрывоопасностью веществ и материалов называется совокупность свойств, характеризующих их способность к возникновению и распространению горения. Следствием горения может быть пожар или взрыв.

При определении пожаровзрывоопасности веществ и материалов различают (ГОСТ 12.1.044–89 «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов»):

1. Газы – вещества, давление насыщенных паров которых при температуре 25°С и давлении 101,3 кПа превышает 101,3 кПа;

2. Жидкости – вещества, давление насыщенных паров которых при температуре 25°С и давлении 101,3 кПа меньше 101,3 кПа. К жидкостям относят также твердые плавящиеся вещества, температура плавления или каплепадения которых меньше 50°С;

3. Твердые вещества и материалы – индивидуальные вещества и их смеси с температурой плавления или каплепадения больше 50°С, а также вещества, не имеющие температуру плавления (древесина, ткани и т.п.);

4. Пыли – диспергированные твердые вещества и материалы с размером частиц менее 850 мкм.



При оценке пожарной опасности веществ и материалов необходимо учитывать их агрегатное состояние. Поскольку горение, как правило, происходит в газовой среде, то в качестве показателей пожарной опасности необходимо учитывать условия, при которых образуется достаточное для горения количество газообразных горючих продуктов.

Температура самовоспламенения характеризует минимальную температуру вещества или материала, при которой происходит резкое увеличение скорости экзотермических реакций, заканчивающееся возникновением пламенного горения.

Минимальная концентрация горючих газов и паров в воздухе, при которой они способны загораться и распространять пламя, называется нижним концентрационным пределом воспламенения; максимальная концентрация горючих газов и паров, при которой еще возможно распространение пламени, называется верхним концентрационным пределом воспламенения. Область составов и смесей горючих газов и паров с воздухом, лежащих между нижним и верхним пределами воспламенения, называется областью воспламенения.

Значения нижних пределов воспламенения многих горючих веществ (углеводородов и их производных) с достаточной для практики точностью могут быть рассчитаны по уравнению  $C = 0,5 C_{стех}$ , где  $C_{стех}$  – концентрация горючего, соответствующая стехиометрическому соотношению горючего и воздуха (%).

Для многокомпонентных горючих смесей расчет пределов (%) производится по правилу Ле–Шателье:

$$C = \frac{100}{g_1/c_1 + g_2/c_2 + \dots + g_n/c_n}, \quad (47)$$

где  $C$  – предел воспламенения (верхний и нижний);  $g_1, g_2, \dots, g_n$  – содержание горючих компонентов, % от суммарного содержания горючих компонентов, т. е.  $g_1 + g_2 + \dots + g_n = 100\%$ ;  $c_1, c_2, \dots, c_n$  – соответствующие (верхние или нижние) пределы воспламенения горючих компонентов, %.

Концентрация насыщенных паров жидкостей находится в определенной взаимосвязи с ее температурой. Используя это свойство, можно концентрационные пределы воспламенения насыщенных паров выразить через температуру жидкости, при которой они образуются.

Основным параметром, характеризующим пожарную опасность аэрозолей, является нижний концентрационный предел взрываемости (НКПВ), измеряемый в граммах на кубический метр горючей смеси. По степени взрывопожароопасности пыли классифицируются на 2 группы и 4 класса.

Пыли с НКПВ до  $65 \text{ г/м}^3$  включительно относятся к группе А, в которой выделяют: 1-й класс – пыли с НКПВ менее  $15 \text{ г/м}^3$  и 2-й класс – пыли с НКПВ от  $15$  до  $65 \text{ г/м}^3$ . Пыли с НКПВ выше  $65 \text{ г/м}^3$  относятся к группе Б, в которой выделяют: 3-й класс – пыли с температурой самовоспламенения до  $250^\circ\text{C}$  включительно и 4-й класс – пыли с температурой самовоспламенения более  $250^\circ\text{C}$ .

Температурой вспышки называется самая низкая (в условиях специальных испытаний) температура горючего вещества, при которой над поверхно-

стью образуются пары и газы, способные вспыхивать в воздухе от источника зажигания, но скорость их образования еще недостаточна для последующего горения.

Все горючие жидкости по пожарной опасности можно разделить на два класса: к первому относятся жидкости с температурой вспышки до  $61^{\circ}\text{C}$  (бензин, этиловый спирт, ацетон, серный эфир, нитроэмали и т. д.), они называются легковоспламеняющимися жидкостями (ЛВЖ), особо опасными называются ЛВЖ с температурой вспышки не более  $28^{\circ}\text{C}$ ; ко второму – жидкости с температурой вспышки выше  $61^{\circ}\text{C}$  (масло, мазут, формалин и др.), они называются горючими жидкостями (ГЖ).

Температура воспламенения – наименьшая температура горючего вещества, при которой оно выделяет горючие пары и газы с такой скоростью, что после воспламенения их от источника зажигания возникает устойчивое горение.

Температурные пределы воспламенения – температуры, при которых насыщенные пары вещества образуют в данной окислительной среде концентрации, равные соответственно нижнему и верхнему концентрационным пределам воспламенения жидкостей.

По горючести вещества и материалы делятся на:

а) негорючие – не воспламеняющиеся при воздействии достаточно мощных импульсов;

б) трудногорючие – способные гореть при воздействии источника зажигания, но не способные гореть после его удаления;

в) горючие – способные возгораться при воздействии источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления.

Тлением называется беспламенное горение твердого вещества при температурах  $400 - 600^{\circ}\text{C}$ , часто сопровождающееся выделением дыма. Температурой тления считается температура, при которой происходит резкое увеличение скорости экзотермических реакций окисления, заканчивающихся возникновением тления.

Условие теплового самовозгорания – экспериментально выявленная зависимость между температурой окружающей среды, количеством вещества и временем до момента самовоспламенения.

Минимальная энергия зажигания – наименьшая энергия электрического разряда, способная воспламенить наиболее легковоспламеняющуюся смесь горючего вещества с окислителем.

Кислородный индекс – минимальное содержание кислорода в кислородно-азотной смеси, при котором возможно свечеобразное горение материала в условиях специальных испытаний.

Способность взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и другими веществами определяется при механическом смешивании исследуемых веществ в заданной пропорции.

Нормальная скорость распространения пламени – скорость перемещения фронта пламени относительно несгоревшего газа в направлении перпендикулярном его поверхности.

Скорость выгорания – количество жидкости, сгорающее в единицу времени с единицы поверхности.

Коэффициентом дымообразования является показатель  $D_m$  характеризующий оптическую плотность дыма, образующегося при пламенном горении или тлении определенного количества материала в условиях специальных испытаний.

$$D_m = \frac{V}{L \cdot m} \ln \frac{T_0}{T_{\min}}, \quad (48)$$

где  $V$  – вместимость камеры измерений ( $3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ );  $L$  – длина пути луча света в задымленной среде, м;  $m$  – масса образца, кг;  $T_0$  и  $T_{\min}$  – значения начального и конечного светопропускания, % (обычно  $T_0 = 100\%$ ). Различают составы:

- с малой дымообразующей способностью,  $D_m < 50 \text{ м}^2/\text{кг}$ ;
- с умеренной дымообразующей способностью,  $50 < D_m < 500 \text{ м}^2/\text{кг}$ ;
- с высокой дымообразующей способностью,  $D_m > 500 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Индекс распространения пламени – условный безразмерный показатель, характеризующий способность веществ воспламеняться, распространять пламя по поверхности и выделять тепло.

По этому показателю вещества классифицируются на:

- не распространяющие пламя по поверхности, индекс равен 0;
- медленно распространяющие пламя по поверхности, индекс  $0 \div 20$  включительно;
- быстро распространяющие пламя по поверхности, индекс свыше 20.

Показатель токсичности продуктов горения полимерных материалов  $H_{CL50}$  – отношение количества материала к единице объема замкнутого пространства, в котором образующиеся при горении материала газообразные продукты вызывают гибель 50% подопытных животных.

Максимальное давление взрыва – наибольшее избыточное давление, возникающее при дефлаграционном сгорании газо-, паро- или пылевоздушной смеси в замкнутом сосуде при начальном давлении смеси 101,3 кПа.

Скорость нарастания давления взрыва – производная давления взрыва по времени на восходящем участке зависимости давления взрыва горючей смеси в замкнутом сосуде от времени.

Число показателей, необходимых и достаточных для характеристики пожаровзрывоопасности веществ и материалов в условиях производства, переработки, транспортирования и хранения, определяет разработчик системы обеспечения пожаровзрывоопасности объекта или разработчик стандарта и технических условий на вещество.

## **8.5. Категорирование и классификация технологических процессов, зданий и помещений**

Оценка взрывопожароопасности технологических процессов, блоков, помещений, зданий необходима для определения возможных разрушительных воздействий пожаров и взрывов на перечисленные объекты, а также поражаю-

щих факторов пожаров и взрывов на людей. В зависимости от категории взрывопожароопасности предусматривают объемно–планировочные решения и профилактические мероприятия.

По пожарной опасности технологические процессы разделяются на:

- технологические процессы повышенной пожарной опасности, в которых обращаются взрывопожароопасные вещества в количестве равном или большем порогового значения.
- технологические процессы, в которых обращаются взрывопожароопасные вещества в количестве меньшем порогового значения.

Определение категорий помещений осуществляют на стадии проектирования путем последовательной проверки принадлежности помещения к категориям (табл. 9) от высшей (А) к низшей (Д).

Таблица 9.

Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности

Категории помещений	Характеристика веществ, находящихся (обращающихся) в помещении
А Взрывопожарная	Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28°С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5кПа. Вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом в таком количестве, что избыточное расчетное давление взрыва в помещении превышает 5кПа
Б Взрывопожароопасная	Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовать взрывоопасные пылевоздушные и паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается избыточное расчетное давление взрыва в помещении, превышающее 5кПа
В1-В4 Пожароопасная	Горючие и трудно горючие жидкости, твердые горючие и трудно горючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категориям А и Б
Г	Негорючие вещества и материалы в горячем; раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистой теплоты, искр и пламени; горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива
Д	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии

В этом случае в качестве расчетного выбирают наиболее неблагоприятный вариант аварии или нормальной работы аппаратов, при котором во взрыве или пожаре может участвовать наибольшее количество взрывопожароопасных веществ и материалов. Расчет производят исходя из следующих предпосылок:

- происходит авария одного из аппаратов, содержащих наибольшее количество взрывопожароопасных веществ;
- все содержимое аппарата поступает в помещение;
- одновременно происходит утечка веществ из трубопроводов, подходящих к аппарату, в течение времени, необходимого для отключения аппаратов: 300 с – при ручном отключении; 120 с – при автоматическом отключении без резервирования систем автоматики; в соответствии с паспортными данными отключающих устройств (но не более 3 с) – при автоматическом отключений с резервированием элементов автоматического отключения;
- происходит испарение с поверхности разлившейся жидкости; площадь испарения при разливе на пол определяют исходя из расчета, что 1 л смесей и растворов, содержащих 70% и менее растворителей, разливается на площади 0,5 м<sup>2</sup>, а остальных жидкостей – на 1 м<sup>2</sup> пола помещения;
- одновременно происходит испарение жидкости из емкостей, эксплуатируемых с открытым зеркалом жидкости и со свежеекрашенными поверхностями;
- длительность испарения жидкости принимают по расчету, но не более 3600 с.

–Для производств, где в технологических процессах обращаются взрывоопасные пыли, количество пыли, участвующей во взрыве, определяют из условия:

- вследствие разгерметизации в помещение выбрасывается вся находящаяся в аппарате пыль;
- во взрыве участвует вся пыль, накопившаяся в помещении за счет пылевыделения из негерметичного производственного оборудования.

Категорию взрывопожароопасности помещений определяют в последовательности:

- выявляют номенклатуру и количество горючих веществ, находящихся в помещении;
- производят оценку их взрывопожароопасности;
- выбирают оборудование и агрегаты, содержащие наибольшее количество взрывопожароопасных веществ и материалов;
- анализируют возможные аварийные ситуации и выбирают наиболее неблагоприятный вариант, когда в помещение поступает наибольшее количество горючих газов, легковоспламеняющихся жидкостей или пылей.

Помещение относят к категориям В1 – В4 в зависимости от удельной пожарной нагрузки на 1 м<sup>2</sup> площади.

Категорирование зданий производят в зависимости от площади взрывопожароопасных помещений в здании.

Здание относят к категории А, если в нем суммарная площадь помещений категории А превышает 5% площади всех помещений, или 200 м<sup>2</sup>. Допускается не относить здание к категории А, если суммарная площадь помещений категории А в здании не превышает 25% площади всех размещенных в нем помеще-

ний (но не более 1000 м<sup>2</sup>) и эти помещения оборудованы установками автоматического пожаротушения.

Здание относят к категории Б, если одновременно выполнены два условия: здание не относится к категории А; суммарная площадь помещений категорий А и Б превышает 5% суммарной площади всех помещений, или 200 м<sup>2</sup>. Допускается не относить здание к категории Б, если суммарная площадь помещений категорий А и Б в здании не превышает 25% суммарной площади всех помещений, размещенных в здании (но не более 1000 м<sup>2</sup>), и эти помещения оборудованы средствами автоматического пожаротушения.

Здание относят к категории В, если оно не входит в категории А или Б, а суммарная площадь помещений категорий А, Б и В превышает 5% (10%, если в здании отсутствуют помещения категорий А и Б), площади всех помещений. Допускается не относить здание к категории В, если суммарная площадь помещений категорий А, Б и В в здании не превышает 25% суммарной площади всех помещений (но не более 3500 м<sup>2</sup>) и эти помещения оборудованы установками автоматического пожаротушения.

Здание относят к категории Г, если оно не входит в категории А, Б или В, а суммарная площадь помещений категорий А, Б, В и Г превышает 5% суммарной площади всех помещений. Допускается не относить здание к категории Г, если суммарная площадь помещений категорий А, Б, В и Г в здании не превышает 25% суммарной площади всех помещений (но не более 5000 м<sup>2</sup>) и помещения категорий А, Б и В оборудованы устройствами автоматического пожаротушения.

Здание относят к категории Д, если оно не входит в категории А, Б, В и Г.

В зависимости от категории помещения (здания) для их строительства применяют соответствующие строительные материалы и конструкции.

Состояние строительных конструкций во время пожара характеризуется огнестойкостью – способностью сопротивляться действию огня. Количественно огнестойкость оценивают пределом огнестойкости – временем в часах от начала действия огня до наступления одного из признаков:

- потери несущих способностей или деформации несущих конструкций (обозначают индексом *R*);
- потери ограждающей функции из-за образования сквозных трещин, через которые пламя может перекинуться в соседнее помещение (обозначают индексом *E*);
- потери теплоизолирующей способности за счет повышения температуры противоположной от пламени стороны конструкции до 160°С (обозначают индексом *J*).

В зависимости от горючести применяемых материалов предел огнестойкости строительных конструкций колеблется в диапазоне указанном в табл. 10.

Таблица 10

Классификация зданий и сооружений по огнестойкости

Степень огнестойкости	Максимальные пределы огнестойкости конструкций, мин				
	Несущие	Наружные	перекры-	Покрытия	Лестничные клетки

зданий	элементы	стены	тия	бесчердач- ные	Площадки, стены	Марши лестниц
I	R120	RE30	REJ60	RE30	REJ120	R60
II	R45	RE15	REJ45	RE15	REJ90	R45
III	R15	RE15	REJ15	RE15	REJ45	R30
IV	Не нормируется					

Категория помещений и зданий накладывает некоторые ограничения и определяет выбор степени огнестойкости зданий, этажность и площадь этажа здания, количество эвакуационных выходов и расстояние между ними, время эвакуации, площадь легкобрасываемых конструкций для категорий А и Б, количество и вид средств пожаротушения.

### 8.6. Классификация взрывопожароопасных зон при наличии электрооборудования

Электрооборудование и сети часто являются причинами пожаров, так как при размыкании контактов образуется электрическая дуга, обмотки и поверхности иногда нагреваются до высоких температур, перегрузка сетей и старение изоляции приводят к замыканиям. То есть электрооборудование во взрывопожароопасных условиях может стать источником зажигания. Поэтому электрооборудование изготавливают взрывобезопасным, повышенной надежности, нормального исполнения, а условия его эксплуатации строго регламентированы Правилами устройства электроустановок. Например, в помещениях категорий А и Б необходимо применять взрывобезопасное оборудование. В помещениях других категорий также могут находиться взрывопожароопасные вещества. В аварийных ситуациях воспламенение этих веществ не вызовет разрушения помещений, но может привести к травмам и большому материальному ущербу. В таких помещениях выделяют взрывоопасные и пожароопасные зоны (табл. 11 и 12).

Класс взрывоопасной зоны накладывает требования на допустимые способы прокладки кабеля и проводов, исполнение, маркировку, а также эксплуатацию электрооборудования.

Исполнение, маркировка и эксплуатация электрооборудования должны соответствовать ГОСТ 12.2.020-76.

Система специальных и конструктивных мер и средств, предотвращающих возможность воспламенения взрывоопасной среды, характеризует уровень взрывозащиты электрооборудования.

Различают уровни взрывозащиты электрооборудования:

- повышенной надежности, обеспечивающее взрывозащиту только в нормальном режиме работы. Обозначается по ГОСТ индексом 2;
- взрывобезопасное, обеспечивающее взрывозащиту, как при нормальном режиме работы, так и при вероятных повреждениях. Обозначается по ГОСТ индексом 1;

–особовзрывобезопасное, обеспечивающее взрывозащиту при любых условиях эксплуатации электрооборудования. Обозначается по ГОСТ кодексом 0.

Виды исполнения взрывозащищенного оборудования:

взрывонепроницаемая оболочка (обозначение по ГОСТ индексом *d*) – оболочка, способная выдержать давление взрыва внутри нее и предотвращающая распространение взрыва из оболочки в окружающую среду. Корпус оборудования делают прочным, способным выдержать давление взрыва горючей смеси.

Таблица 11



Классификация взрывоопасных зон ПУЭ

№ п/п	Классы зон	Характеристика зон
1	В – I	Зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие газы или пары ЛВЖ в таком количестве и с такими свойствами, что они могут образовать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы, например, при загрузке или разгрузке технологических аппаратов, хранения и переливании ЛВЖ, находящихся в открытых емкостях, и т. п.
2	В – Ia	Зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов (независимо от нижнего концентрационного предела воспламенения) или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а образование таких смесей возможно только в результате аварий или неисправностей
3	В – Ib	Зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а образование таких смесей возможно только в результате аварий или неисправностей. Эти зоны отличаются одной из следующих особенностей: 1) горючие газы в этих зонах обладают высоким нижним концентрационным пределом воспламенения (15 % и более) и резким запахом при предельно допустимых концентрациях по ГОСТ 12.1.005-88, например, машинные залы аммиачных компрессорных и холодильных абсорбционных установок; 2) помещения производств, связанных с обращением газообразного водорода, в которых по условиям технологического процесса исключается образование взрывоопасной смеси в объеме, превышающем 5 % свободного объема помещения. Взрывоопасная зона условно принимается от отметки, равной 0,75 общей высоты помещения, считая от уровня пола, но не выше кранового пути, если таковой имеется (например, помещения электролиза воды, зарядные станции тяговых и стартерных аккумуляторных батарей). Это положение не распространяется на электромашинные помещения с турбогенераторами с водородным охлаждением при условии обеспечения электромашинного помещения вытяжной вентиляцией с естественным побуждением
4	В – Iг	Пространства у наружных установок: технологических установок, содержащих горючие газы или ЛВЖ (за исключением аммиачных компрессорных установок, выбор электрооборудования для которых производится согласно указаниям, приведенным в п. 4 примечаний к настоящей таблице) наземных и подземных резервуаров с ЛВЖ и горючими газами (газгольдеры); эстокад для слива и налива ЛВЖ; открытых нефтеловушек, прудов-отстойников с плавающей нефтяной пленкой и т. п.
5	В – II	Зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли или волокна в таком количестве и с такими свойствами, что они способны образовать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы, например при загрузке и разгрузке технологических аппаратов)
6	В – IIa	Зоны, расположенные в помещениях, в которых опасные состояния, свойственные зонам класса В – II, не имеют места при нормальной эксплуатации, а возможны только в результате аварий или неисправностей

Примечание:

1. При определении взрывоопасных зон принимается:
  - а) взрывоопасная зона занимает весь объем помещения, если объем взрывоопасной смеси превышает 5% его свободного объема;
  - б) взрывоопасной считается зона в помещении в пределах до 5 м по горизонтали и вертикали от технологического аппарата, из которого возможно выделение горючих газов или паров ЛВЖ, если объем взрывоопасной смеси равен не менее 5% свободного объема помещения. Помещение за пределами взрывоопасной зоны следует считать невзрывоопасным, если нет других факторов, создающих в нем взрывоопасность;
  - в) взрывоопасная зона наружных взрывоопасных установок ограничена размерами, указанными в п. 4 примечаний;
2. К классу В – Iб относятся также зоны лабораторных и других помещений, в которых горючие газы и ЛВЖ имеются в небольших количествах, недостаточных для создания взрывоопасной смеси в зоне, превышающей 5% свободного объема помещения, и в которых работа с горючими газами и ЛВЖ производится в вытяжных шкафах или под вытяжными зонтами.
3. К зонам класса В – Iб также относятся: пространства у проемов за наружными ограждающими конструкциями помещений с взрывоопасными зонами классов В – I, В – Ia и В – II (исключение – проемы окон с заполнением стеклоблоками); пространства у наружных ограждающих конструкций, если на них расположены устройства для выброса воздуха из систем вытяжной вентиляции помещений с взрывоопасными зонами любого класса или если они находятся в пределах наружной взрывоопасной зоны; пространства у предохранительных и дыхательных клапанов емкостей и технологических аппаратов с горючими газами и ЛВЖ.
4. Для наружных взрывоопасных установок взрывоопасная зона класса В – Iг считается в пределах до:
  - а) 0,5 м по горизонтали и вертикали от проемов за наружными ограждающими конструкциями помещений с взрывоопасными зонами классов В – I, В – Ia, В – II;
  - б) 3 м по горизонтали и вертикали от закрытого технологического аппарата, содержащего горючие газы или ЛВЖ; от вытяжного вентилятора, установленного снаружи (на улице) и обслуживающего помещения с взрывоопасными зонами любого класса;
  - в) 5 м по горизонтали и вертикали от устройств для выброса из предохранительных и дыхательных клапанов емкостей и технологических аппаратов с горючими газами или ЛВЖ; от расположенных на ограждающих конструкциях зданий устройств для выброса воздуха из систем вытяжной вентиляции помещений с взрывоопасными зонами любого класса;
  - г) 8 м по горизонтали и вертикали от резервуаров с ЛВЖ или горючими газами (газгольдеры); при наличии обвалования – в пределах всей площади внутри обвалования;
  - д) 20 м по горизонтали и вертикали от места открытого слива и налива для эстакад с открытым сливом и наливом ЛВЖ. Эстакады с закрытыми сливно-наливными устройствами, эстакады и опоры под трубопроводы для горючих газов и ЛВЖ не относятся к взрывоопасным, за исключением зон в пределах до 3 м по горизонтали и вертикали от запорной арматуры и фланцевых соединений трубопроводов, в пределах которых электрооборудование должно быть взрывозащищенным для соответствующих категорий и группы взрывоопасной смеси.

Для предупреждения выбрасывания пламени из корпуса (если в корпусе произойдет взрыв) через зазоры, эти зазоры делают меньше тушащего для данной смеси;

Таблица 12

### Классификация пожароопасных зон по ПУЭ

№ п/п	Классы зон	Характеристика зон
1	П – I	Пространство в помещении, в котором имеются горючие жидкости
2	П – II	Пространство в помещении, в котором может образоваться пылевоздушная смесь, но при ее воспламенении и сгорании избыточное давление не будет превышать 5 кПа
3	П – III	Пространство вне помещения, в котором имеются горючие жидкости, пыли, волокна, твердые, в том числе волокнистые горючие материалы

Примечание:

При давлении взрыва пылевоздушной смеси, паров перегретых жидкостей не более 5 кПа принимается пожароопасная зона класса П–II.

- искробезопасная электрическая цепь (обозначение по ГОСТ индексом *i*) – электрооборудование, в котором электрический разряд или нагрев элементов электрической цепи не может воспламенить взрывоопасную среду. Искробезопасность такого оборудования обеспечивается специальными искрогасящими элементами (конденсаторами, сопротивлениями, дросселями), уменьшающими энергию искры при замыкании и размыкании цепи. Эти ограничительные элементы схемы должны быть такими, чтобы энергия искр замыкания и размыкания была меньше в четыре раза минимальной энергии воспламенения или ток в электрической цепи при замыкании был в два раза меньше тока, воспламеняющего данную горючую смесь;
- заполнение или продувка оболочки электрооборудования чистым воздухом или инертным газом под избыточным давлением (обозначается по ГОСТ индексом *q*) – предотвращает попадание в оболочку взрывоопасной смеси из окружающего объема;
- масляное заполнение оболочки (обозначается по ГОСТ индексом *o*) – искрящие и неискрящие токоведущие части погружают в масло или негорючий диэлектрик;
- кварцевое заполнение оболочки (обозначается по ГОСТ индексом *p*) – погружение токоведущих частей в кварцевый песок;
- защита вида «*e*» (обозначается по ГОСТ индексом *e*), ее применяют в электрооборудовании, не имеющем нормально искрящих частей; принят ряд мер, затрудняющих появление опасных нагревов, электрических искр и дуг;
- специальный вид взрывозащиты, принципиально отличающийся от вышеуказанных (обозначается по ГОСТ индексом *s*).

При изготовлении и выборе взрывозащищенного электрооборудования для конкретных условий эксплуатации учитываются категория и группа взрывоопасной смеси. В зависимости от способа передачи взрыва (выхода пламени) через зазоры в оболочке устанавливают категории взрывоопасных смесей по тушащему зазору.

Безопасный экспериментальный зазор (БЭМЗ) – максимальный зазор между фланцами оболочки, через который взрыв не передается из оболочки в окружающую среду при любой концентрации горючего в воздухе.

В зависимости от температуры самовоспламенения определяют группу взрывоопасной смеси.

Для каждого вида взрывозащищенного электрооборудования устанавливают предельную температуру – наибольшую безопасную температуру поверхности электрооборудования. В зависимости от значения предельной температуры выбирают температурные классы по ГОСТ 12.1.011-88.

### **8.7. Системы предотвращения и защиты от пожаров**

Согласно ГОСТ 12.1.004-91 нормативная вероятность возникновения пожара принимается не более  $10^{-6}$  в год на отдельный пожароопасный элемент рассматриваемого объекта. Такая же вероятность воздействия опасных факторов пожара в расчете на отдельного человека принимается при разработке системы пожарной защиты.

Системой обеспечения пожарной безопасности называется совокупность сил и средств, а также мер правового, организационного, экономического, социального и научно-технического характера, направленных на борьбу с пожарами. Основными элементами системы обеспечения пожарной безопасности являются органы государственной власти, органы местного самоуправления, предприятия, граждане, принимающие участие в обеспечении пожарной безопасности в соответствии с законодательством РФ.

Основные функции системы обеспечения пожарной безопасности:

- нормативное правовое регулирование и осуществление государственных мер в области пожарной безопасности;
- создание пожарной охраны и организация ее деятельности; разработка и осуществление мер пожарной безопасности; реализация прав, обязанностей и ответственности в области пожарной безопасности;
- проведение противопожарной пропаганды и обучение населения мерам пожарной безопасности;
- содействие деятельности добровольных пожарных и объединений пожарной охраны, привлечение населения к обеспечению пожарной безопасности;
- научно-техническое обеспечение пожарной безопасности;
- информационное обеспечение в области пожарной безопасности;
- осуществление государственного пожарного надзора и других контрольных функций по обеспечению пожарной безопасности;
- производство пожарно-технической продукции;
- выполнение работ и оказание услуг в области пожарной безопасности;
- лицензирование деятельности (работ, услуг) в области пожарной безопасности и сертификация продукции и услуг в области пожарной безопасности;
- противопожарное страхование, установление налоговых льгот и осуществление иных мер социального и экономического стимулирования обеспечения пожарной безопасности;
- тушение пожаров и проведение связанных с ними первоочередных аварийно-спасательных работ;

- учет пожаров и их последствий;
- установление особого противопожарного режима.

Под пожарной профилактикой следует понимать сумму мероприятий, направленных на обеспечение пожарной безопасности объектов народного хозяйства, жилых домов, общественных зданий и сооружений. Пожарная профилактика играет огромную роль в обеспечении пожарной безопасности охраняемого объекта. Она решает 4 задачи:

1. Предупреждение пожара. Эта задача решается за счет:

- правильного проектирования технологических процессов производства, основанного на глубоком их анализе;
- установления жесткого контроля при эксплуатации зданий и сооружений, т.е. выполнения противопожарных мероприятий на этапе их проектирования и эксплуатации;
- проведения комплекса агитационно-массовой и разъяснительной работы на противопожарные темы, проведения пожарно-технических минимумов с рабочими, специалистами и руководителями;
- проведение пожарно-технического обследования всех зданий и сооружений.

2. Установление комплекса мероприятий, направленных на исключение возможности распространения пожара в случае его возникновения, за счет:

- правильной планировки зданий и сооружений с учетом рельефа местности, противопожарных разрывов;
- применения в строительстве негорючих материалов, выбора необходимой степени огнестойкости;
- устройства противопожарных преград, негорючих перекрытий, противопожарных зон, стен, перегородок.

3. Создание условий для успешной эвакуации людей, животных, имущества, таких, как:

- правильное проектирование достаточного количества эвакуационных путей, выходов, достаточной их ширины;
- изоляция лестничных клеток, коридоров и производственных помещений, установление определенной степени огнестойкости конструктивных элементов и применение в эксплуатации негорючих конструкций;
- надлежащее соблюдение противопожарного режима на путях эвакуации путем проведения целого ряда организационных мероприятий.

4. Установление комплекса мероприятий, направленных на успешное тушение пожара. К ним относятся:

- боевая готовность пожарных подразделений и боевых расчетов ДПД (добровольных пожарных дружин);
- обеспечение объектов средствами пожаротушения, расчетного водоснабжения, дорогами, связью, автоматическими средствами извещения и тушения пожара;
- расчетное расположение пожарных подразделений на охраняемом объекте.

### *Противопожарный режим на предприятии*

Под ним понимается комплекс мероприятий, направленных на предотвращение пожара и строгое выполнение требований пожарной безопасности. В противопожарный режим входят разделы: содержание территории предприятия, зданий и помещений, электроустановок, отопления, вентиляции, требования к технологическому оборудованию и т.д.

Ответственность за пожарную безопасность отдельных помещений, цехов, лабораторий и других производственных участков несут руководители, а во время отсутствия последних – лица, исполняющие их обязанности.

Все руководители подразделений и другие должностные лица обязаны:

- обеспечить соблюдение на вверенных им участках работы установленного противопожарного режима;
- следить за исправностью приборов отопления, вентиляции, электроустановок технического оборудования и принимать немедленно меры к устранению обнаруженных неисправностей, которые могут привести к пожару;
- следить за тем, чтобы после окончания работы производилась уборка рабочих мест и помещений, отключалась электрическая сеть, за исключением дежурного освещения и электроустановок, которые по условию технологического процесса должны работать круглосуточно;
- обеспечить исправное содержание и постоянную готовность к действию имеющихся средств пожаротушения, связи и сигнализации.

Для раздельного хранения чистых и использованных обтирочных материалов устанавливаются металлические ящики с плотно закрывающимися крышками. По окончании работ ящики с использованными обтирочными материалами очищают.

Для цеховых кладовых, специально предназначенных для хранения ГЖ и ЛВЖ, на видных местах должны быть вывешены таблички с указанием норм хранения этих жидкостей. Все цеха, мастерские, склады и тому подобные помещения должны быть обеспечены первичными средствами пожаротушения в соответствии с установленными нормами. Не допускается использовать чердачные помещения для хранения каких-либо материалов для производственных целей. Чердачные и подвальные помещения должны быть постоянно заперты, а слуховые окна закрыты. Ключи от чердачных помещений должны храниться в определенном месте, доступном для получения их в любое время суток. На дверях чердачных помещений должно быть указано место хранения ключей. Стационарные пожарные лестницы и несгораемые ограждения на крышах зданий должны содержаться в постоянной исправности.

Лица, виновные в нарушении Правил пожарной безопасности (ППБ-01-03), в зависимости от характера нарушений и их последствий несут ответственность в дисциплинарном, административном или судебном порядке.

Для предупреждения распространения пожара с одного здания или сооружения на другое между ними устанавливают определенные расстояния,

называемые противопожарными разрывами. Величина противопожарного разрыва между производственными зданиями и сооружениями зависит от:

- степени их огнестойкости;
- категории пожарной опасности;
- наличия и площади световых проемов;
- протяженности и этажности зданий.

Обеспечение безопасных расстояний между предприятиями, жилыми и общественными зданиями достигается, как правило, созданием санитарно-защитных зон. Ширина санитарно-защитной зоны для предприятий первого класса (производства мощностью более 1000 т/год) составляет 1000 м, для предприятий второго (мощностью 400 т/год) – пятого классов должна быть соответственно 500, 300, 100 и 50 м.

Промышленные предприятия располагают за пределами санитарно-защитной зоны, а в самой зоне можно размещать предприятия относящиеся к низшему классу вредности и вспомогательные здания (пожарные депо, гаражи, склады, столовые, здания для аварийного персонала и др.). Зонирование (группировку) территории предприятия осуществляют исходя из признаков технологической связи и характера присущих ему пожарных опасностей и вредностей. При этом здания, сооружения и склады с повышенной пожарной опасностью располагают с подветренной стороны.

Устройства, предназначенные для ограничения распространения пожаров и загораний в зданиях, называются противопожарными преградами. К ним относятся:

- стены;
- перегородки;
- перекрытия;
- двери;
- ворота;
- люки;
- тамбур-шлюзы;
- окна.

Установлены предельно допустимые расстояния между эвакуационными выходами. Эвакуационные пути, согласно противопожарным нормам, должны обеспечивать эвакуацию через имеющиеся выходы всех людей, находящихся в помещениях зданий, сооружений, в течение необходимого времени эвакуации. Установлено также необходимое время эвакуации людей из производственных помещений I, II и III степени огнестойкости.

Продолжительность времени эвакуации людей из помещений, зданий сравнивают с необходимым временем, выявляют места скопления людей и предусматривают мероприятия по ликвидации задержек путем расширения проходов, проемов.

### *Противопожарное водоснабжение*

Противопожарное водоснабжение заключается в обеспечении защищаемых объектов необходимыми расходами воды под требуемым напором в течение нормативного времени тушения пожара при обеспечении достаточной надежности всего комплекса водопроводных сооружений.

Противопожарное водоснабжение подразделяют на системы наружного и внутреннего пожаротушения. Нормативный расход воды на наружное пожаротушение зависит от возможного числа одновременных пожаров на объекте. Для промышленных объектов число одновременных пожаров принимается равным одному при площади территории предприятия до 150 га и двум при площади более 150 га. Для зданий I и II степени огнестойкости категорий А, Б, В объемом до 20 тыс. м<sup>3</sup> и при ширине до 60 м нормативный расход воды составляет 20 л/с. Запас воды на пожаротушение должен обеспечивать нормативный расход в течение 3 ч, а для зданий I и II степени огнестойкости категорий Г и Д – в течение 2 ч.

Для производственных зданий категорий В, Г и Д при расходе воды на наружное пожаротушение до 10 л/с и при наличии на расстояниях до 500 м естественных или искусственных водоисточников разрешается водопроводное противопожарное водоснабжение.

Необходимость устройства внутреннего водопровода в зданиях и помещениях определяется их назначением, этажностью, высотой, объемом.

### *Пожарные щиты*

Для размещения первичных средств пожаротушения, немеханизированного инструмента и пожарного инвентаря в производственных и складских помещениях, не оборудованных внутренним противопожарным водопроводом и автоматическими установками пожаротушения, а также на территории предприятий, организаций, не имеющих наружного противопожарного водопровода, или при удалении зданий, сооружений, наружных технологических установок этих предприятий на расстояние более 100 м от наружных пожарных водоисточников предусматривают пожарные щиты. Необходимое число пожарных щитов и их тип определяют в зависимости от категорий помещений, зданий, сооружений и наружных технологических установок по взрывопожарной и пожарной опасности; предельной защищаемой площади одним пожарным щитом; класса пожара (табл. 13).

Пожарные щиты комплектуются первичными средствами пожаротушения, немеханизированным пожарным инструментом и инвентарем согласно нормам.

### *Противопожарные требования к генеральным планам предприятий*

При разработке генерального плана предприятия (предприятий) предусматривают:

- противопожарные разрывы от зданий I и II степени до зданий III степени огнестойкости – 9 м, от зданий III степени огнестойкости до зданий III и IV степени огнестойкости – 12 и 15 м соответственно;



Нормы оснащения зданий (сооружений) и территории пожарными щитами

Назначение и категории помещений или наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности	Предельная защищаемая площадь одним пожарным щитом, м <sup>2</sup>	Класс пожара	Тип щита
А, Б и В (горючие газы и жидкости)	200	А, В, Е	ЩП-А, ЩП-В, ЩП-Е
В (твердые горючие вещества и материалы)	400	А, Е	ЩП-А, ЩП-Е
Г и Д	1800	А, В, Е	ЩП-А, ЩП-В, ЩП-Е
Помещения различного назначения при проведении сварочных и других огнеопасных работ	–	А	ЩПП

Примечание:

ЩП-А – щит пожарный для очагов пожара класса А; ЩП-В – щит пожарный для очагов пожара класса В; ЩП-Е – щит пожарный для очагов пожара класса Е; ЩПП – щит пожарный передвижной.

- расположение зданий и сооружений с учетом рельефа местности и розы ветров (направления господствующих ветров);
- зонирование зданий и сооружений по функциональному назначению или по признаку взрывопожароопасности;
- дороги и въезды на территорию предприятия, площадь которого превышает 5 га, должны иметь не менее двух въездов, расположенных на разных сторонах площадки. На стороне площадки, примыкающей к улице или дороге общего пользования протяженностью более 1000 м, должно быть устроено не менее двух въездов на предприятие. Расстояние между въездами не должно превышать 1500 м;
- водопроводные сети закольцовывают и разделяют на ремонтные участки. Пожарные гидранты для наружного пожаротушения располагают вдоль проездов на расстоянии не более 100 м друг от друга и не ближе 5 м от стен зданий и сооружения. При установке гидрантов вне проезжей части их располагают не далее 2,5 м от бортового камня. Расстояние между гидрантами разрешается увеличивать до 120 м для территорий промышленных предприятий, где расчетный расход воды на пожаротушение составляет не более 20 л/с.

### *Пожарная сигнализация*

Пожарная сигнализация предназначена для быстрого сообщения о пожаре. Системами пожарной сигнализации оборудуют технологические установки повышенной пожарной опасности, производственные здания, склады. Пожарная связь и сигнализация имеют большое значение для осуществления мер по предупреждению пожаров, способствуют своевременному их обнаружению и

вызову пожарных подразделений к месту возникновения пожара, а также обеспечивают управление и оперативное руководство работами при пожаре.

Пожарная связь подразделяется на связь извещения (своевременный прием вызовов на пожары), диспетчерскую связь (управление силами и средствами для тушения пожаров) и связь на пожаре (руководство пожарными подразделениями). Наиболее пожароопасные объекты имеют прямую телефонную связь с центральным пунктом пожарной связи или с подразделениями пожарной охраны.

Системы электрической пожарной сигнализации (ЭПС) обнаруживают начальную стадию пожара (загорания) и сообщают о месте его возникновения. ЭПС, в свою очередь, подразделяется на автоматическую и ручную.

В автоматических системах сигнализации и пожаротушения используют тепловые, дымовые и инфракрасные (световые) пожарные извещатели (датчики).

Тепловые датчики бывают двух типов:

- датчики ИП 104–1 и ТРВ–2 (тепловые извещатели) срабатывают при повышении температуры до 60 – 80°С. Они контролируют площадь до 15 м<sup>2</sup>;
- дифференциальные датчики срабатывают при появлении определенного градиента температур (реагируют на скорость нарастания температуры). Такие датчики контролируют площадь помещения до 30 м<sup>2</sup>.

Дымовые датчики реагируют на появление дыма в контролируемом помещении на площади до 150 м<sup>2</sup>. Фотоэлектрические ИДФ–М, ДИП–1, ДИП–2 и радиоизотопные РИД–1, РИД–6 срабатывают при появлении дыма в месте их установки. Линейно-объемные ДОП–1, ДОП–2, КВАНТ–1, КВАНТ–2 срабатывают при затенении дымом инфракрасного светового луча между излучателем и приемником. Такие датчики блокируют участки помещений длиной до 50 м.

Инфракрасные (световые) датчики, например ДПИД, реагируют на инфракрасное излучение пламени. Угол обзора этих датчиков 60°.

Количество датчиков (дымовых, тепловых) зависит от площади помещения, контролируемой одним извещателем, а световых – от площади оборудования. Если установку пожарной сигнализации используют для управления автоматическими установками пожаротушения, дымоудаления и оповещения о пожаре, то каждую точку защищаемой поверхности необходимо контролировать не менее чем двумя датчиками. При этом максимальное расстояние между дублирующими датчиками должно быть равно половине нормативного.

Выбор датчиков в зависимости от назначения помещений и характеристики помещений, производств и технологических процессов представлен в табл. 14.

Элемент датчика, преобразующий неэлектрическую величину в электрическую, называется преобразователем. Наибольшее применение нашли фото- и термоэлектрические, ионизационные и механические преобразователи.

Вторичные приборы, или сигнально-пусковые блоки, выполняют одноили многолучевыми. На входе каждого луча может быть подсоединено различное число датчиков. Методы регистрации очага горения разделяют на локальные (контролируемый параметр определяется при непосредственном контакте

преобразователя с защищаемой средой) и объемные (преобразователь контролирует пространственную зону). Для регистрации взрывов внутри технологических аппаратов целесообразно использовать объемные методы контроля, поскольку локальные методы не позволяют своевременно обнаружить загорание.

Таблица 14

Типы пожарных извещателей	
Автоматический пожарный извещатель	Перечень характерных помещений, производств, технологических процессов
<i>Производственные здания</i>	
Тепловой или дымовой	С производством и хранением: изделий из древесины, синтетических смол, синтетических волокон, полимерных материалов, текстильных, целлюлозно-бумажных изделий, резины, резинотехнических изделий. С хранением несгораемых материалов в сгораемой упаковке, твердых сгораемых материалов
Световой	Щелочных металлов, металлических порошков, каучука натурального
Тепловой	Продуктов и материалов с выделением пыли
<i>Специальные сооружения</i>	
Тепловой или дымовой	Помещений (сооружений) для прокладки кабелей, помещения для трансформаторов, распределительных и щитовых устройств. Помещения для оборудования и трубопровода по перекачке горючих жидкостей и масел, для испытаний двигателей внутреннего сгорания и топливной аппаратуры, наполнения баллонов горючими газами
Дымовой	Помещения электронно-вычислительной техники, электронных регуляторов

#### *Удаление дыма из помещений*

Удаление дыма предусматривают:

- из коридоров производственных, общественных и административно-бытовых зданий высотой более 26,5 м;
- из коридоров длиной более 15 м, не имеющих естественного освещения в производственных зданиях категорий А, Б и В с числом этажей 2 и более;
- из каждого производственного или складского помещения с постоянными рабочими местами, не имеющего механизированных приводов для открывания фрамуг в верхней части окон на уровне 2,2 м и выше от пола до низа фрамуг и для открывания проемов в фонарях (в обоих случаях площадью достаточной для удаления дыма при пожаре), если помещения отнесены к категориям А, Б или В;
- из каждого помещения, не имеющего естественного освещения: общественного или административно-бытового, если оно предназначено для массового пребывания людей; помещения площадью 55 м<sup>2</sup> и более, предназначенного для хранения или использования горючих материалов, если в

нем имеются постоянные рабочие места, гардеробные площадью 200 м<sup>2</sup> и более.

Для обеспечения безопасной эвакуации людей из помещений здания в начальной стадии пожара предусматривают аварийную вентиляцию. Совместно с основными системами вентиляции с искусственным побуждением аварийная вентиляция должна обеспечивать в помещениях высотой 6 м и менее 8-кратный воздухообмен в час, а в помещениях высотой более 6 м – не менее 50 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> площади пола помещений.

## 8.8. Способы тушения пожаров

В практике тушения пожаров наибольшее распространение получили следующие принципы прекращения горения:

1. изоляция очага горения от воздуха или снижение путем разбавления воздуха негорючими газами концентрации кислорода до значения, при котором не может происходить горение;
2. охлаждение очага горения ниже определенных температур;
3. интенсивное торможение (ингибирование) скорости химической реакции в пламени;
4. механический срыв пламени в результате воздействия на него сильной струи газа или воды;
5. создание условий огнепреграждения, т. е. таких условий, при которых пламя распространяется через узкие каналы.

К огнетушащим составам и средствам тушения относят: воду, подаваемую в очаг горения сплошной струей или в распыленном состоянии и обеспечивающую главным образом охлаждающий эффект; химическую и различной кратности воздушно-механическую пену, оказывающую в основном изолирующее действие; инертные газы (диоксид углерода и водяной пар), оказывающие разбавляющее действие; галогенуглеводородные составы, обладающие свойствами химических ингибиторов; порошковые составы, обладающие универсальными огнетушащими свойствами; комбинированные составы (сочетание порошковых и пенных составов, водогалогенуглеводородные эмульсии).

Выбор средств пожаротушения зависит от технологии производства и физико-химических свойств, применяемого сырья, полупродуктов и продуктов; от условий, исключающих появление вредных побочных явлений при реагировании огнетушащего средства с горящим веществом (например, взрывов, образования токсичных газов), а также от условий протекания процесса горения и технических возможностей, используемых для тушения пожара.

### *Тушение водой*

Вода является наиболее дешевым и распространенным средством тушения пожаров. Она обладает высокой теплоемкостью (теплота парообразования 2258 Дж/г), повышенной термической стойкостью, значительным увеличением объема при парообразовании (1кг воды образует при испарении свыше 1700л пара). Воду применяют для тушения пожаров твердых горючих материалов, со-

здания водяных завес и охлаждения объектов (технологических установок, аппаратов, сооружений и др.), расположенных вблизи очага горения.

Учитывая высокую электропроводность воды, ее не применяют для тушения пожаров установок и оборудования, находящихся под напряжением. Также недостатком является то, что водой нельзя тушить жидкости с плотностью меньшей, чем у воды, и вещества, указанные в табл. 15.

Таблица 15. Вещества, для тушения которых нельзя применять воду и водопенные средства

Вещество	Характер взаимодействия с водой
Алюминийорганические вещества	Реагируют с взрывом
Литийорганические соединения, карбиды щелочных металлов, гидриды ряда металлов, магний, цинк и другие металлы, карбиды кальция, алюминия, бария	Разложение с выделением горючих газов
Гидросульфит натрия	Самовозгорание
Серная кислота, термит, хлорид титана	Сильный экзотермический эффект
Битум, пергидрат натрия, жиры, масла, петролатум	Усиление горения в результате выброса. Разбрызгивания, вскипания

Воду подают в очаг горения в виде сплошных или распыленных струй. Сплошные (компактные) струи сбивают пламя, одновременно охлаждая поверхность. Сплошные струи применяют при подаче воды на большое расстояние или для придания ей ударной силы, т.е. когда тушение пожаров производится на значительной высоте или при большом очаге пожара, не дающем возможность близко доставить к очагу горения ствол для подачи воды, а также в случае необходимости охлаждения соседних с горящим объектом металлоконструкций, резервуаров с большого расстояния.

При тушении пожара распыленная струя во многих случаях более эффективна, чем сплошная, вследствие создания наилучших условий для испарения воды, а, следовательно, для повышения охлаждения и разбавления горючей среды.

Для тушения пожаров горючих жидкостей (дизельного масла; керосина, трансформаторного масла, смазочных масел и др.) применяют распыленную в виде капельных струй воду с оптимальным размером капель от 0,3 до 0,8 мм в зависимости от напора струи. Наилучший эффект тушения ЛВЖ (с низкой температурой воспламенения) достигается мелкораспыленными и туманообразными водяными струями.

При добавлении к воде поверхностно-активных веществ (смачивателей) в 2 – 2,5 раза снижается расход воды и уменьшается время тушения. Так, введение в воду от 0,5 до 2,0% смачивателя повышает эффект тушения пожаров плохо смачиваемых веществ и материалов (технический углерод и т. п.) почти в два раза.

Для получения водохимических растворов используют сульфонаты, сульфанола, смачиватели и пенообразователи. Эффект тушения пожаров достигается также применением водных эмульсий галогенированных углеводов (смесь воды с 5 – 10% бромэтила, тетрафтордибромэтана и др.). Эффективность

тушения обеспечивается охлаждающим действием воды и ингибирующим действием галогенированных углеводородов в парогазовой фазе.

### ***Тушение пеной***

Средством, уменьшающим концентрацию горючего, является пена. Она применяется для тушения твердых и жидких веществ, не вступающих в реакцию с водой. Слой пены, покрывающий горящую поверхность, препятствует поступлению паров и газов в воздух и частично охлаждает горящее вещество. пеной называют двухфазную систему из жидкой и газовой составляющих. Характеристиками пены являются кратность и стойкость. Стойкость пены характеризуется ее сопротивляемостью процессу разрушения и оценивается продолжительностью разрушения пены.

Кратность пены определяется:

$$K = V_{\text{пены}} / V_{\text{жидкости}}, \quad (49)$$

где  $V_{\text{пены}}$  – объем пены;  $V_{\text{жидкости}}$  – объем жидкости, входящей в единицу объема пены.

По кратности пены подразделяют на низкой кратности –  $K < 20$ , средней кратности –  $K = 20 \div 200$  и высокой кратности –  $K > 200$ . Наиболее широко используют пены средней кратности с  $K = 70 \div 150$ . При большей кратности снижается стойкость пены, то есть пена быстро разрушается, а следовательно, ухудшаются ее огнетушащие свойства.

По способу получения различают воздушно-механические и химические пены. Химическая пена образуется в результате реакции между щелочью и кислотой в присутствии пенообразователя. Ее состав: 80%  $\text{CO}_2$ , 19,7%  $\text{H}_2\text{O}$  и 0,3% пенообразующего вещества; плотность  $0,15 \div 0,25$ . Химическая пена обладает более высокой стойкостью, кроме того, углекислый газ оказывает флегматизирующее действие на очаг горения. Воздушно-механическая пена – коллоидная система, состоящая из пузырьков газа, окруженных пленками жидкости. Ее получают смешиванием воды и пенообразователя с одновременным примешиванием воздуха. Состав пены низкой кратности: 90% воздуха, 9,7%  $\text{H}_2\text{O}$  и  $0,2 \div 0,4\%$  пенообразователя; плотность  $0,11 \div 0,17$ .

### ***Тушение инертными разбавителям***

. В качестве огнетушащих составов для объемного тушения используют инертные разбавители:

- водяной пар;
- диоксид углерода;
- азот;
- аргон;
- дымовые газы;
- летучие ингибиторы (некоторые галогенсодержащие вещества).

### ***Тушение порошковыми составами***

Эти составы обладают высокой огнетушащей эффективностью. Они способны подавлять горение различных, в том числе пирофорных соединений и веществ, не поддающихся тушению водой и пенами (металлы и металлоорганические соединения и т. п.); их можно применять для тушения пожаров при ми-

нусовых температурах. Порошки не оказывают коррозионного воздействия на материал. Наиболее широкое применение нашли порошковые составы на основе бикарбоната и карбоната натрия и калия, аммониевых солей фосфорной кислоты.

Основную роль при тушении порошками играет их способность ингибировать пламя. Огнетушащий эффект, например, порошков на основе бикарбонатов щелочных металлов значительно превышает эффект охлаждения или разбавления диоксидом углерода, выделяющимся при разложении этих порошков.

Выбор средств и способов пожаротушения сводится к обеспечению надежного тушения в наикратчайшее время при наименьших затратах.

Для объектов, в которых обращается большое количество ЛВЖ и в которых нельзя осуществлять объемное тушение (здания павильонного типа, открытые установки), целесообразно использовать стационарные пенные или порошковые установки. Примером рационального применения пенного пожаротушения с помощью стационарной установки является тушение диэтилового эфира, отличающегося низкой температурой вспышки, полярными свойствами и поэтому трудно поддающегося тушению.

Тушение металлоорганических соединений, применяемых в процессах полимеризации в качестве катализаторов (алюминийорганических (АОС) и литийорганических (ЛОС)), представляет определенные трудности, поскольку концентрированные растворы АОС характеризуются высокой пирофорностью (выделением большого количества тепла и возможным самовоспламенением).

Наиболее эффективным средством тушения АОС является порошок СИ–2 – крупнопористый силикагель (марок МСК или АСК) с частицами размером 1 – 2 мм, насыщенный тетрафтордибромметаном (до 50%). Разбавленные (до 10%) растворы триизобутилалюминия и диизобутилалюминийхлорида можно тушить воздушно-механической пеной и тонкораспыленной водой, растворы концентрацией выше 10% этими средствами тушить нельзя.

При проливе небольших количеств продукта на нижних отметках в качестве первичного средства тушения для локализации очага горения и охлаждения конструкций используют диоксид углерода с последующим тушением порошком СИ–2 из огнетушителя СИ–120 или стационарных установок.

При фонтанировании АОС из аппаратов непрерывно подают диоксид углерода для охлаждения мест истечения и снижения интенсивности факельного горения до тех пор, пока будет сброшено давление в реакторах. После сброса давления, не прекращая подачи диоксида углерода, к месту истечения подводят поддон или асбестовое одеяло и засыпают фланцевое соединение порошком СИ–2.

Литийорганические соединения (ЛОС), как и концентрированные растворы АОС, нельзя тушить водопенными составами. Растворы и суспензии ЛОС в концентрациях до 20% не обладают пирофорными свойствами, поэтому пожары таких ЛОС можно тушить объемным способом с применением газообразного диоксида углерода. Тушение всех ЛОС на открытом воздухе (за исключением шлама бутиллития) эффективно достигается порошковым составом типа ПСБ (бикарбонат натрия, 10% талька, 1 – 2% кремнийорганической добавки АМ–1–

300) при расходе 1–5 кг/м<sup>2</sup> в зависимости от характера растекания продукта. Для тушения шлама бутиллития используют порошок СИ–2, удельный расход составляет 1,5 кг/м<sup>2</sup>.

Выбор огнегасительного вещества зависит от класса пожара. В табл. 16 приведены классификация пожаров и рекомендуемые огнегасительные вещества.

Таблица 16

Классификация пожара и рекомендуемые огнетушащие средства

Класс пожара	Характеристика горючей среды или объекта	Огнетушащие средства
А	Обычные твердые горючие материалы (бумага, дерево, текстиль, резина и др.)	Все виды огнетушащих средств (прежде всего вода)
В	Горючие жидкости (бензин, лаки, масла, растворители др.)	Распыленная вода, все виды пены, составы на основе галогеналкидов, порошки
С	Горючие газы (пропан, метан водород, ацетилен и др.)	Газовые составы: инертные разбавители (СО <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> ), галогенуглеводороды, порошки, вода (для охлаждения)
Д	Металлы и их сплавы (К, Na, Al, Mg и др.)	Порошки (при спокойной подаче на горящую поверхность)
Е	Электроустановки, находящиеся под напряжением	Галогенуглеводороды, диоксид углерода, порошки

### Аппараты пожаротушения

Для подачи средств тушения в очаг пожаров используют первичные средства и автоматические установки пожаротушения, а также роботы.

Основным первичным средством пожаротушения являются огнетушители – переносные (массой до 20 кг) или передвижные устройства для тушения очага пожара за счет выпуска запасенного огнетушащего вещества.

По виду применяемого огнетушащего вещества огнетушители подразделяют на следующие типы:

- водные (ОВ) – с зарядом воды или воды с добавками;
- воздушно-пенные (ОВП) – с зарядом водного раствора пенообразующих добавок;
- порошковые (ОП) – с зарядом огнетушащего порошка;
- газовые, которые включают:
  - углекислотные (ОУ) – с зарядом двуокиси углерода;
  - хладоновые (ОХ) – с зарядом огнетушащего вещества на основе галоидированных углеводородов;
- комбинированные – с зарядом двух различных огнетушащих веществ, которые находятся в разных емкостях огнетушителя.

По рабочему давлению огнетушители подразделяют на огнетушители низкого давления (рабочее давление ниже или равно 2,5 МПа при температуре окружающей среды 20±2 °С) и огнетушители высокого давления (рабочее давление выше 2,5 МПа при температуре окружающей среды 20±2 °С).



В зависимости от вида заряженного огнетушащего вещества (ОТВ) огнетушители подразделяют:

- для тушения загорания твердых горючих веществ (класс пожара А);
- для тушения загорания жидких горючих веществ (класс пожара В);
- для тушения загорания газообразных горючих веществ (класс пожара С);
- для тушения загорания металлов и металлосодержащих веществ (класс пожара Д);
- для тушения загорания электроустановок, находящихся под напряжением (класс пожара Е).

В зависимости от назначения порошковые составы делятся на порошки общего назначения (типов А, В, С, Е и В, С, Е) и порошки специального назначения (типа Э, которые тушат, как правило, не только пожар класса Д, но и пожары других классов).

Состав огнетушащих порошков в зависимости от классов пожара:

- порошки типа А, В, С, Е – основной активный компонент фосфорно-аммонийные соли;
- порошки типа В, С, Е – основным компонентом этих порошков могут быть бикарбонат натрия или калия; сульфат калия; хлорид калия; сплав мочевины с солями угольной кислоты и т. д.;
- порошки типа Э – основной компонент – хлорид калия; графит и т. д.

Количество и тип огнетушителей, необходимых для защиты конкретного объекта, устанавливают исходя из величины пожарной нагрузки, физико-химических и пожароопасных свойств обращающихся горючих материалов (категория защищаемого помещения), характера возможного их взаимодействия с ОТВ и размеров защищаемого объекта.

### ***Установки водяного пожаротушения***

Для подачи воды при тушении пожара используют пожарные стволы или оросители, которыми можно создавать сплошные, капельные, распыленные и мелкозаспыленные водяные струи. Для тушения пожаров водой применяют установки водяного пожаротушения, пожарные автомашины и водяные стволы (ручные и лафетные). Наиболее широкое распространение получили спринклерные и дренчерные установки.

*Спринклерные* установки включаются автоматически при повышении температуры среды внутри помещения до заданного предела. Датчиками этих систем являются спринклеры, легкоплавкий замок которых открывается при повышении температуры. Спринклерные установки имеют основной и автоматический (вспомогательный) водопитатели. Автоматический водопитатель (водонапорный бак, гидропневматическая установка, водопровод и др.) должен подавать воду до включения основного водопитателя (насосных станций).

Водяные спринклерные системы используют: в помещениях с температурой воздуха не ниже 4°C; в неотапливаемых помещениях, в которых на протяжении не менее восьми месяцев года поддерживается температура воздуха 4°C, трубопроводы заполняют до пускового устройства антифризом.

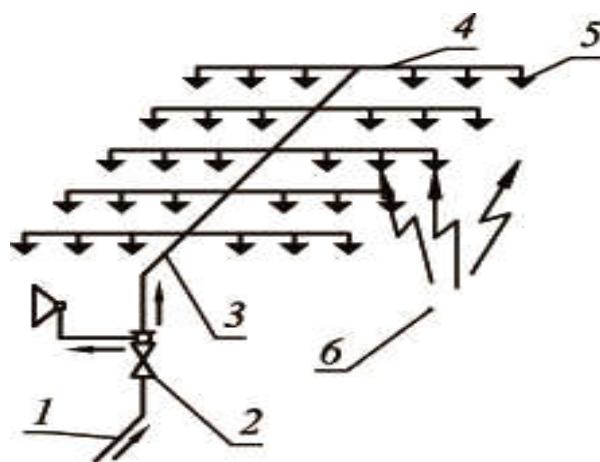


Рис. 42. Спринклерная установка пожаротушения:

1 – магистральный трубопровод, 2 – контрольно-сигнальное устройство, 3 – питающие трубы, 4 – распылительные трубы, 5 – спринклеры, 6 – очаг пожара

Эти установки представляют собой (рис. 42) разветвленные трубопроводы, размещенные под потолком помещения, в которые вмонтированы спринклеры (при условии орошения одним спринклером от 9 до 12 м<sup>2</sup> площади пола).

Выходное отверстие в спринклерной головке в обычное время закрыто легкоплавким замком. При повышении температуры замок (температура плавления припоя замка 72°С) выбрасывается и вода разбрызгивается, ударяясь о дефлектор. В спринклерных головках совмещены датчики и приспособления для выбрасывания воды. Вскрываются лишь те головки, которые оказались в зоне высокой температуры пожара. Спринклерные головки обладают сравнительно большой инерционностью – они вскрываются через 2 – 3 мин с момента повышения температуры. Такая инерционность не всегда приемлема в пожароопасных производствах.

*Дренчерные* установки применяют в помещениях с высокой пожарной опасностью. При горении ЛВЖ эти установки локализуют пожар и предотвращают распространение огня на соседнее оборудование. Все трубопроводы этих установок постоянно заполнены водой до штуцеров дренчеров на распределительных трубопроводах.

Дренчерные установки включаются в действие как автоматически при срабатывании пожарных извещателей, так и вручную. Их используют для одновременного орошения расчетной площади, отдельных частей строения, создания водяных завес в проемах дверей, окон, орошения элементов технологического оборудования.

Быстродействующие установки локального действия по конструктивному оформлению напоминают дренчерные системы. Они предназначены для защиты участков технологических процессов, где возможны воспламенения, взрывы и другие аварийные ситуации, для ликвидации которых нельзя использовать спринклерно-дренчерные установки. Эффект тушения быстродействующими установками достигается мгновенной подачей большого количества воды на очаг пожара в течение короткого промежутка времени.

Установки тушения распыленной водой применяют для пожарной защиты производств, в которых обращаются ГЖ и масла. Они аналогичны дренчерным установкам, однако для создания распыленных водяных струй в них имеются специальные оросители, конструкция которых отличается от конструкции обычных дренчеров.

Установки тушения мелкодисперсной водой применяют для защиты цехов, производящих синтетический каучук, пластмассы и др. Они также аналогичны дренчерным и спринклерным установкам группового действия. Для мелкого распыления воды используют специальные оросители, в которых вода подается под давлением (0,1 МПа). Эти установки расходуют большое количество воды, поэтому предусматривают систему дренажа.

### ***Пожарные водопроводы***

Воду в установку водяного тушения пожаров, лафетные стволы (устройства для получения мощных водяных струй для тушения крупных пожаров), ручные пожарные стволы и пожарные автомобили подают по пожарным водопроводам. Они бывают самостоятельными, предназначенными исключительно для пожарных целей, или объединенными с питьевыми или производственными водопроводами. Вода при пожаре используется для наружного и внутреннего пожаротушения.

Наружное пожаротушение заключается в том, что из водопроводов передвижные пожарные автонасосы, установленные на пожарных машинах, или мотопомпы забирают воду через пожарные гидранты (подземные или надземные), а подают ее под необходимым давлением к месту пожаротушения. Внутренний пожарный водопровод (часто объединенный с хозяйственным или производственным) предназначен для подачи воды в начальной стадии развития пожара. Это определяет размещение внутренних пожарных кранов и оборудование их рукавами с пожарными стволами для подачи водяных струй. Пожарные краны размещаются на высоте 1,35 м от пола на стояках, находящихся, как правило, на лестничных клетках или в наиболее доступных местах здания.

### ***Установки водопенного тушения***

Для тушения пожаров пеной применяют передвижные средства (ручные пенные стволы, пеноподъемники, пеногенераторы и др.), полустационарные (пенокамеры), стационарные генераторы и автоматические стационарные установки.

Вода под напором поступает по трубопроводу от водоисточника в дозатор, который автоматически (через трубопровод) подсасывает определенное количество пенообразователя из емкости. Образующийся водный раствор пенообразователя поступает по трубопроводу в генератор пены, в котором, перемешиваясь с воздухом, превращается в воздушно-механическую пену.

Стационарные установки для тушения пожара воздушно-механической пеной бывают поверхностного, объемного, локального и комбинированного действия. В установках поверхностного действия (спринклерных и дренчерных) используют пену низкой кратности. В спринклерных установках тушения воздушно-механической пеной вместо водяных спринклеров используют закрытые автоматически действующие пенные оросители и пенопитатель с устрой-

ством, дозирующим пенообразователем. В установках объемного действия применяют пену средней кратности и высокократную, в установках локального и комбинированного действия – все виды пены.

Установка пенного тушения локального действия (рис. 42) реагирует на пожар и автоматически включает подачу раствора пенообразователя в генераторы, где образуется пена для тушения пожара на поверхности технологического аппарата и на полу.

В качестве установок пенного тушения ЛВЖ и ГЖ в начальной стадии загорания применяют стационарные воздушно-пенные огнетушители (типов ОВПС и ОВПУ), которые заряжены 5%-м водным раствором пенообразователя. Пенные огнетушители не применяют для тушения загораний в электроустановках, находящихся под напряжением, щелочных металлов и веществ, горение которых происходит без доступа воздуха.

### **Установки газового пожаротушения**

Эти установки могут быть объемного и локального пожаротушения (по объему и по площади). В помещениях объемом до 3000 м<sup>3</sup> применяют объемное тушение газовыми составами (СО<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, Ar), а объемом до 6000 м<sup>3</sup> – фреоном.

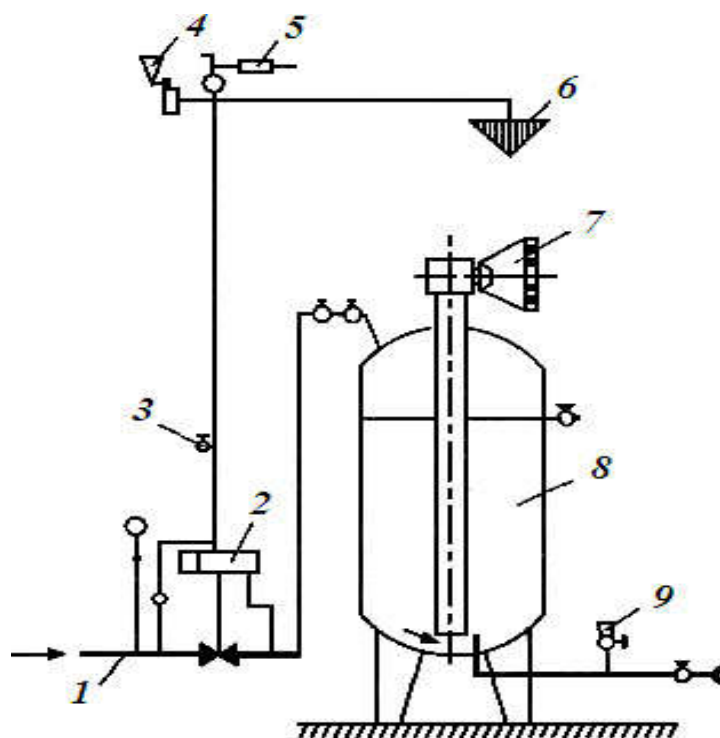


Рис. 43. Автоматическая установка пенного тушения локального действия:  
1 – трубопровод сжатого воздуха, 2 – клапан автоматической подачи сжатого воздуха, 3 – кран ручного включения, 4 – устройство, выдающее сигнал, 5 – побудитель с легкоплавким замком, 6 – пожарный извещатель, 7 – генератор пены, 8 – сосуд с водным раствором пенообразователя, 9 – устройство для заполнения

Локальное тушение газовыми составами по объему используют тогда, когда применение установок объемного тушения невозможно. Установки локального тушения по площади применяют для тушения отдельных очагов, используя для этого шланг и раструб.

На рис. 44 приведена схема автоматической стационарной установки объемного (газового) тушения.

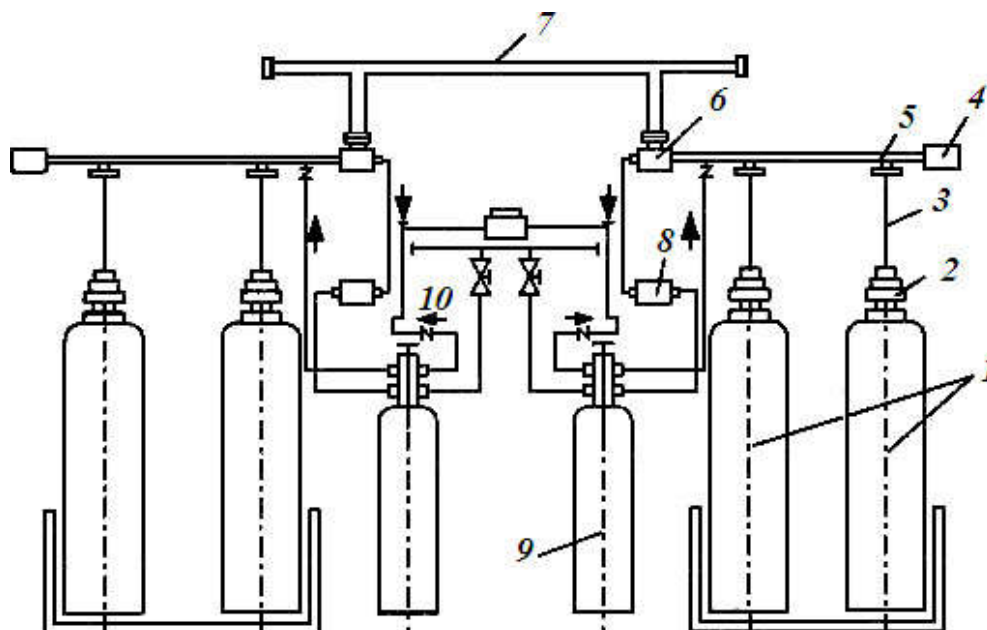


Рис. 44. Двухсекционная углекислотная установка:

1 – баллоны с диоксидом углерода, 2 – выпускная головка, 3 – соединительная трубка, 4 – предохранительный клапан, 5 – секционный коллектор, 6 – запорный клапан, 7 – общий коллектор, 8 – электроконтактный манометр, 9 – пусковой воздушный баллон, 10 – обратный клапан с пневматическим пуском

Ее назначение – быстро заполнить помещение газовыми составами и создать в нем требуемую концентрацию среды, при которой прекращается горение. Установки размещают в отдельном помещении; пуск их осуществляют специальным автоматическим устройством (пневмотросовым и электрическим). В зонах возможного загорания устанавливают спринклерную сеть, соединенную с общим коллектором углекислотной установки, который находится под небольшим избыточным давлением, чтобы удерживать запорный клапан в закрытом состоянии.

Для тушения и локализации небольших очагов горения газовыми огнетушащими составами применяют ручные (типа ОУ) и передвижные (типа УП) огнетушители.

#### **Установки для тушения пожаров порошковыми составами**

Стационарные установки применяют на технологических аппаратах, в производственных зданиях и сооружениях. Установки могут иметь различные схемы и выполняться с электрическим и пневмомеханическим пуском.

На рис. 45 показана схема установки автоматического тушения пожаров порошковыми составами с пневмомеханической системой пуска.

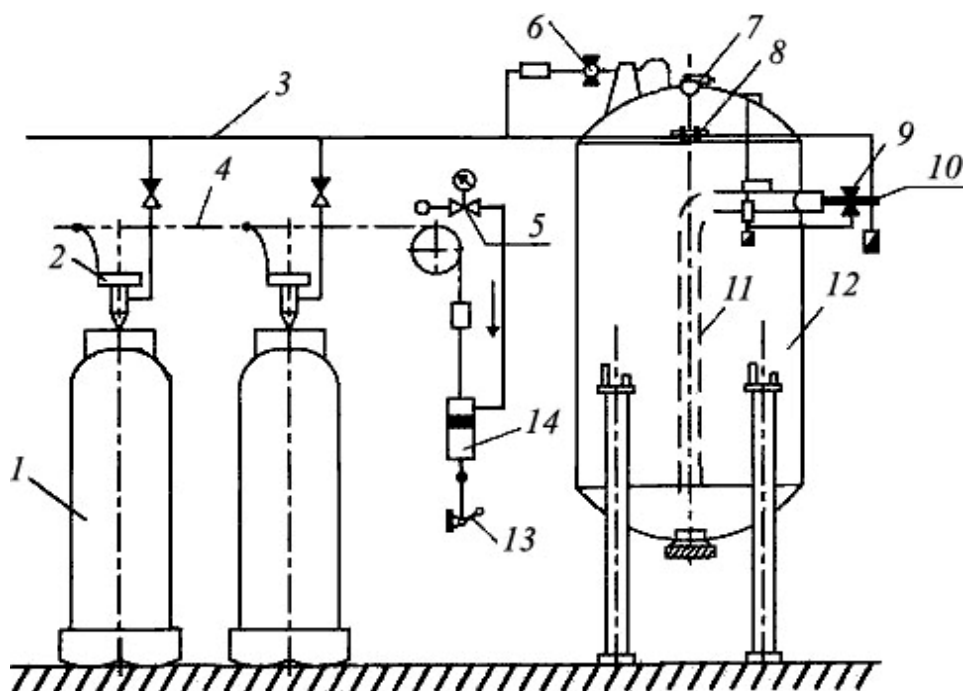


Рис. 45. Схема установки автоматического тушения пожара порошковыми составами с пневматической системой включения:

1 – баллон со сжатым газом, 2 – головка-затвор, 3 – коллектор сжатого газа, 4 – трос, 5 – электромагнитный вентиль, 6 – редуктор, 7 – люк, 8 – вентиль. 9 – шаровый кран с пневмоприводом, 10 – трубопровод подачи порошкового состава, 11 – сифонная трубка, 12 – сосуд с порошковым составом, 13 – рычаг ручного включения, 14 – пневмопривод

Она приводится в действие при срабатывании побудительно-пусковой батареи после включения пожарного извещателя. Под действием сжатого газа поршень привода опускается вниз, натягивает трос и открывает головки-затворы, которые включают подачу сжатого газа через редуктор в сосуд с порошковым составом. Когда давление в сосуде достигает заданного предела, порошковый состав через трубопровод и распылители подается на очаг горения.

Передвижные порошковые установки располагают в кузове автомашины или на платформе прицепа. Заряд огнетушащего состава такой установки колеблется от 0,5 до 1,5 т. Для нормальной работы установки предусмотрены два баллона со сжатым газом (воздухом или азотом).

Порошковые огнетушители переносные типа ОПС примеряют для тушения щелочных металлов (при площади горения до  $4\text{ м}^2$ ): до 6 кг лития, до 10 кг калия и до 15 кг натрия или магниевой стружки. Порошковый состав подается из баллона емкостью 10 л через шланг и удлинитель под давлением сжатого воздуха, который хранится в дополнительном баллончике емкостью 0,7 л.

## Библиографический список

1. Домнин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках / П.А. Домнин. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 448 с.
2. Князевский Б.А. Охрана труда в электроустановках / Б.А. Князевский. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 336 с.
3. Электрическая безопасность: учебное пособие / В.И. Миндрин. – Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. Нижний Новгород, 2002. – 80 с.
4. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. – М.: ЗАО Энергосервис, 2002. – 280 с.
5. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. – М.: БИО ОБТ, 2001. – 266 с.
6. Невзоров Л.А. Устройство и эксплуатация грузоподъемных кранов / Л.А. Невзоров и др. – М.: Академик, 2002. – 448 с.
7. Соколов Р.С. Химическая технология: учебное пособие / Р.С. Соколов. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2003. – 368 с.
8. Чечеткин А.В. Теплотехника: учебн. для хим.-технол. спец. ВУЗов / А.В. Чечеткин, Н.А. Занеманец. – М.: Высш. школа, 1986. – 344 с.
9. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры / В.М. Черкасский. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 416 с.
10. Трухний А.Д. Стационарные паровые турбины / А.Д. Трухний. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 640 с.
11. Кушелев В.П. Охрана труда в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности / В.П. Кушелев и др. – М.: Химия, 1983. – 113 с.
12. Рахтилевич З.З. Насосы в химической промышленности / З.З. Рахтилевич. – М.: Химия, 1990. – 245 с.
13. Безопасность жизнедеятельности в машиностроении / под ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Высш. школа, 2001. – 485 с.
14. Баратов А.Н. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность / А.Н. Баратов, Е.Н. Иванов и др. – М.: Химия, 1987. – 272 с.
15. Пачурин Г.В., Елькин А.Б., Миндрин В.И., Гейко И.В. и др. Основы безопасности жизнедеятельности: учеб. пособие / Г.В. Пачурин [и др.]; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2013. - 269 с.
16. Пачурин Г.В., Елькин А.Б., Миндрин В.И., Гейко И.В. и др. Основы безопасности жизнедеятельности: учеб. пособие / Г.В. Пачурин [и др.]; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – 2-е изд. Перераб. и доп. – Н. Новгород, 2014. - 269 с.
17. Щенников Н.И., Курагина Т.И., Пачурин Г.В., Меженин Н.А. Расследование несчастных случаев на производстве. Методика и практика расследования: монография / Н.И. Щенников [и др.]; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2011. - 170 с.
18. Щенников Н.И., Курагина Т.И., Пачурин Г.В., Меженин Н.А., Филиппов А.А. Несчастные случаи на производстве. Методика проведения расследования: учеб. пособие / Н.И. Щенников [и др.]; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2012. - 219 с.

19. Совершенствование профилактики несчастных случаев на производстве: монография / Н.И. Щенников, Г.В. Пачурин, Т.И. Курагина, Н.А. Меженин; под ред. Г.В. Пачурина; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2013. - 92 с.



Учебное издание

Пачурин Герман Васильевич  
Миндрин Владимир Иванович

**БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Учебное пособие