

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ФГБОУ ВО «КЕМЕРОВСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
(УНИВЕРСИТЕТ)»

Кафедра безопасности жизнедеятельности

Методические указания  
к выполнению курсового проекта по дисциплине  
«Пожарная безопасность технологических процессов»  
студентами специальности  
20.05.01 «Пожарная безопасность»  
всех форм обучения

Кемерово 2015

*Составители:*

**Ю.И. Иванов**, канд. техн. наук, профессор;  
**Д.А. Бесперстов**, доцент

*Рассмотрено и утверждено на заседании кафедры  
безопасности жизнедеятельности,  
протокол № 04 от 03 февраля 2015 г.*

*Рекомендовано методической комиссией  
механического факультета,  
протокол № 3 от 23 марта 2015 г.*

В методических указаниях изложены требования по выполнению курсовых проектов по дисциплине «Пожарная безопасность технологических процессов». Отражена методология выполнения основных разделов. Раскрываются порядок анализа и методы оценки пожарной опасности технологического процесса, категорирования помещений и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. Приводятся рекомендации по оформлению курсового проекта и задания для его выполнения, содержащие технологические схемы и описания соответствующих технологических процессов.

*Охраняется законом об авторском  
праве, не может быть использовано  
любым незаконным способом  
без письменного договора*

© КемТИПП, 2015

## ВВЕДЕНИЕ

В методических указаниях даны рекомендации по выполнению курсового проекта, цель которого – закрепление знаний по курсу «Пожарная безопасность технологических процессов» (ПБТП), приобретение навыков анализа пожарной опасности, разработки технических решений противопожарной защиты, обоснования (путем расчета) категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности и оценке критериев поражающих факторов.

Курсовой проект по пожарной безопасности технологических процессов является важным этапом в освоении курса. При выполнении курсового проекта студент имеет возможность применить теоретические знания к решению конкретной практической задачи, связанной с разработкой инженерных решений и рекомендации по обеспечению пожарной безопасности заданного технологического процесса.

В ходе выполнения курсового проекта студент закрепляет знания, полученные в курсе ПБТП. При работе над темой он должен:

- изучить технологический процесс (технологическую схему, технологическое оборудование, режимы работы и т.д.);
- исследовать пожарную опасность аппаратов (по методике, изложенной в курсе);
- проверить соответствие технологического оборудования требованиям действующих норм и правил;
- обосновать (расчетными методами) категорию помещения, здания или наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности;
- оценить критерии поражающих факторов пожара;
- разработать меры по обеспечению пожарной безопасности заданного технологического процесса.

Курсовой проект выполняется каждым студентом самостоятельно в соответствии с индивидуальным заданием, в котором указываются вопросы, подлежащие разработке по конкретному технологическому процессу, аппаратам, помещению или наружной установки своего варианта.

## 1. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Вариант курсового проекта для каждого студента соответствует двум последним цифрам номера его зачетной книжки.

Конкретная тематика для выполнения курсового проекта приведена в четвертом разделе (подразделы 4.1; 4.2; 4.3; 4.4; 4.5) настоящих методических указаний.

## 2. ПРЕДОСТАВЛЯЕМЫЙ МАТЕРИАЛ

Курсовой проект должен иметь расчетно–пояснительную записку и графическую часть, представляющую собой выполненную на формате А1 пожарно–техническую карту технологического процесса с указанием схемы размещения оборудования, факторов пожарной опасности и мероприятий по защите.

Содержание записки объемом 25–30 страниц должно отражать следующие вопросы:

1. Краткое описание технологического процесса.
2. Анализ пожаровзрывоопасных свойств веществ, обращающихся в производстве.
3. Оценка пожаровзрывоопасности среды внутри аппаратов при их нормальной работе.
4. Пожаровзрывоопасность аппаратов, при эксплуатации которых возможен выход горючих веществ наружу без повреждения их конструкции.
5. Анализ возможных причин повреждения аппаратов и трубопроводов; разработка необходимых средств защиты.
6. Анализ возможности появления характерных технологических источников зажигания.
7. Возможные пути распространения пожара.
8. Расчет категории производственного помещения или наружной установки по взрывопожарной и пожарной опасности.
9. Оценка последствий поражающих факторов пожара
10. Пожарно–профилактические мероприятия.

Выводы.

Литература.

Титульный лист курсового проекта оформляется по образцу (Прил. 1).

Пожарно–техническая карта выполняется в виде чертежа (рис.1).

### **3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

Анализ пожарной опасности технологического процесса (аппаратов, предусмотренных вариантом задания) следует производить согласно п.7 ГОСТ Р 12.3.047–98 [1]; ст. 95 ФЗ № 123 [2]. Основные вопросы, подлежащие обработке в курсовой работе, и рекомендации для их решения изложены ниже.

#### **3.1. Описание технологического процесса**

В данном разделе необходимо дать краткое описание технологического процесса. Разобраться в материальных потоках, изучить последовательность технологических операций, принципиальную технологическую схему и уяснить процессы, протекающие в технологических аппаратах. Понять их физико–химическую сущность. Изучить параметры (давление, температуру, скорости, расходы), при которых осуществляются процессы в технологических аппаратах. Дать характеристику аппаратов.

#### **3.2. Оценка пожаровзрывоопасных свойств веществ, образующихся в производстве**

Пользуясь справочными пособиями [3–5], следует установить пожаровзрывоопасные свойства веществ и материалов, а именно:

– для жидкостей – химический состав, температуру кипения, плотность жидкости и ее паров, температуру вспышки, температурные и концентрационные пределы распространения пламени, температуру самовоспламенения, склонность к самовозгоранию, способность к электризации, теплоту сгорания, токсичность (класс опасности), тушащие средства;

– для газов – химический состав, плотность, концентрационные пределы распространения пламени, температуру самовоспламенения, теплоту сгорания, токсичность, тушащие средства;

– для твердых веществ – химический состав, температуру самовоспламенения, склонность к самовозгоранию, теплоту сгорания, скорость горения, токсичность продуктов термиче-

ского разложения и горения, способность к плавлению при нагревании и горении, огнетушащие средства (для пыли указать величину нижнего концентрационного предела распространения пламени).

При описании пожаровзрывоопасных свойств веществ (материалов) необходимо выписать из справочных пособий эти свойства, определить наиболее пожароопасные вещества (материалы), сделать краткий вывод.

### **3.3. Оценка условий пожароопасности внутри аппаратов при их нормальной работе**

В технологической схеме могут быть аппараты с горючими жидкостями, причем уровень жидкости может изменяться при наполнении или расходе продукта. Могут быть аппараты, полностью заполненные жидкостью (например, насосы, трубопроводы), аппараты с горючими газами и аппараты, внутри которых находятся одновременно горючая жидкость и газ. Поэтому вначале следует выяснить, есть ли аппараты с переменным уровнем горючей жидкости. Это обычно резервуары, вертикальные и горизонтальные емкости, мерники и другие подобные им аппараты. В таких аппаратах над поверхностью жидкости всегда есть паровоздушное пространство, концентрация паров в котором может быть ниже нижнего предела распространения пламени (воспламенения), в пределах воспламенения (взрыва) или выше верхнего предела распространения пламени (воспламенения). Взрывоопасная концентрация паров в паровоздушном объеме аппарата при нормальной рабочей температуре образуется при выполнении условия:

$$t_{НП} \leq t_p \leq t_{ВП}, \quad (1)$$

где  $t_{НП}, t_{ВП}$  – нижний и верхний пределы распространения пламени, соответствующие нижнему и верхнему концентрационным пределам распространения пламени;

$t_p$  – рабочая температура жидкости.

Если известна зависимость давления насыщенных паров жидкости от температуры, то величина нижнего или верхнего температурного предела распространения пламени  $t_n$ , °С рассчитывается по формуле [6]:

$$t_n = \frac{B}{A - \lg(\phi_n \cdot P_0 / 100)} - C_A, \quad (2)$$

где  $A, B, C_A$  – константы уравнения Антуана;

$P_0$  – атмосферное давление, кПа;

$\phi_n$  – концентрационные пределы распространения пламени, % (об).

Если рабочая температура отличается от стандартной (+25 °С), то концентрационные пределы распространения пламени определяются по формулам:

$$\phi_{НКПР}^p = \phi_{НКПР} \left( 1 - \frac{t_p - 298}{1250} \right), \quad (3)$$

$$\phi_{ВКПР}^p = \phi_{ВКПР} \left( 1 + \frac{t_p - 298}{1250} \right), \quad (4)$$

где  $\phi_{НКПР}, \phi_{ВКПР}$  – соответственно нижний и верхний концентрационный предел распространения пламени при стандартной температуре (298 К).

Для обеспечения безопасности технологический процесс проводят при температуре ниже НТПРП на 10 °С или выше ВТПРП на 15 °С

$$t_{НП} - 10 \leq t_p \leq t_{ВП} + 15, \quad (5)$$

Результаты оценки пожарной опасности целесообразно оформить в виде табл.1 [7].

Следует также показать, как будет изменяться концентрация паров внутри аппарата при понижении уровня жидкости (в период ее расхода, когда в аппарат начнет поступать свежий воздух через дыхательную трубу и разбавлять паровоздушную смесь). Если в аппарате в какие-то периоды образуется взрывоопасная концентрация, опасность ее можно подтвердить расчетом величины давления, которое образуется при взрыве и внутреннего напряжения в стенке сосуда.

Величина давления, образующегося при взрыве, может быть определена по формуле:

$$P_{взр} = P_p \left( \frac{T_{взр}}{T_{нач}} \right) \cdot \left( \frac{m}{n} \right), \quad (6)$$

где  $P_{взр}, P_p$  – конечное давление взрыва и начальное рабочее давление в аппарате перед взрывом;

$T_{взр}, T_{нач}$  – температура продуктов горения при взрыве и начальная температура горючей смеси;

$m, n$ , – количество молей в продуктах горения и в исходной смеси (определяется по уравнению реакции горения).

Значение температуры продуктов адиабатического горения можно взять из [4, 5] или определить расчетом.

Внутренние напряжения в стенках для цилиндрических частей аппаратов, работающих под давлением при  $\beta = D_H / D_B \leq 1,5$  определяется:

Таблица 1

## Оценка пожарной опасности среды в аппарате

Номер аппарата	Наименование аппарата; жидкость	Наличие паровоздушного пространства в аппарате	Рабочая температура в аппарате, °С	Температурные пределы воспламенения водно-спиртовых растворов		Заключение о горючести среды в аппарате
				нижний	верхний	
1	Резервуар; 20%-ный раствор спирта	Есть	18	33	54	Среда негорючая, т.к. $T_p < T_{нпв}$
2	Насос; 20%-ный раствор спирта	Есть	18	33	54	Отсутствует паровоздушное пространство
3	Подогреватель; 20%-ный раствор спирта	Нет	70	33	54	Отсутствует паровоздушное пространство
4	Ректификационная колонна; верх – 96%-ный раствор спирта; низ – вода	Нет	Верх – 80 Низ – 100	11	40	Отсутствует паровоздушное пространство
5	Дефлегматор; спирт-ректификат	Нет	80	11	40	Отсутствует паровоздушное пространство

Окончание табл. 1

Номер аппарата	Наименование аппарата; жидкость	Наличие паровоздушного пространства в аппарате	Рабочая температура в аппарате, °С	Температурные пределы воспламенения водно-спиртовых растворов		Заключение о горючести среды в аппарате
				нижний	нижний	
6	Холодильник; спирт-ректификат	Нет	80	11	40	Отсутствует паровоздушное пространство
7	Приемник; спирт-ректификат	Есть	20	11	40	Среда горючая, т.к. есть паровоздушное пространство $T_{нпв} < T_r < T_{впв}$

$$\sigma = \frac{P[D_B + (S - C)]}{2(S - C)\varphi} \leq [\sigma], \quad (7)$$

В случае  $\beta > 1,5$  :

$$\sigma = \frac{P[D_B + (S - C)]}{2(S - C)\varphi} \leq [\sigma], \quad (8)$$

где  $\sigma$  – напряжения в стенках аппарата, работающего под давлением, Па;

$P$  – давление среды в аппарате, Па;

$S$  – толщина стенки аппарата, м;

$C$  – прибавка на коррозию, м;

$\varphi$  – коэффициент прочности шва (для цельнокованых, литых и сваренных автоматической сваркой аппаратов с двухсторонним сплошным проваром шва  $\varphi = 1$ ; при ручной односторонней сварке  $\varphi = 0,7$ );

$D_B$  – внутренний диаметр аппарата, м;

$[\sigma]$  – нормативное допустимое напряжение, Па.

Величина прибавки на коррозию может быть определена из выражения:

$$c = P\tau, \quad (9)$$

где  $P$  – скорость коррозии материала, принимаемая обычно не менее  $5 \cdot 10^{-5}$  м/год;

$\tau$  – продолжительность эксплуатации оборудования, лет.

Определив величину давления при взрыве паров и возникающие вследствие этого напряжения в стенках аппарата, следует определить необходимость разработки мероприятий по исключению его разрушения.

Если автор курсового проекта придет к заключению, что необходима защита аппарата инертным газом, требуемое время продувки аппарата инертным газом определяется по формуле:

$$\tau = \frac{V}{q} \ln \frac{1}{1 - \phi_{ин}}, \quad (10)$$

где  $V$  – свободный объем аппарата, м<sup>3</sup>;  
 $q$  – расход инертного газа, м<sup>3</sup>/ч;

$\phi_{ин}$  – концентрация инертного газа, при которой достигается флегматизация паровоздушной среды.

Если аппараты или трубопроводы полностью заполнены жидкостью, в них нет паровоздушного объема и, следовательно, в них не могут образовываться взрывоопасные концентрации (кроме периодов пуска и остановки). Если в аппаратах находится горючий газ, а также, если в аппарате с ЛВЖ или ГЖ давление выше или ниже атмосферного, оценка горючести внутренней среды производится сравнением величины рабочей концентрации газа с концентрационными пределами распространения пламени:

$$\phi_n \leq \phi_p \leq \phi_v, \quad (11)$$

где  $\phi_n, \phi_v$  – соответственно нижний и верхний концентрационные пределы распространения пламени;

$\phi_p$  – рабочая (фактическая) концентрация горючего газа или пара.

Когда аппараты заполнены газами или парами без наличия воздуха, то рабочая концентрация газа или пара в аппарате будет равна 100 %. Следовательно, она практически всегда выше верхнего концентрационного предела распространения пламени, т.е. опасность взрыва (взрывоопасная концентрация) отсутствует. Однако она может возникать в периоды остановки и пуска.

Если аппараты заполнены жидкостью и сжиженным горючим газом, опасность среды надо оценивать так же, как для аппаратов с наличием газов. Если в аппаратах (например, сушилках, окрасочных камерах и т.п.) имеется смесь воздуха с насыщенными или перегретыми парами, оценку взрывоопасности внутренней среды следует производить не по темпера-

турным пределам распространения пламени, а путем сравнения действительной концентрации паров с нижним концентрационным пределом распространения пламени. Если концентрация окажется в пределах распространения пламени, следует предложить меры, обеспечивающие снижение концентрации до безопасных пределов.

**Предотвращению образования горючей среды в закрытых аппаратах и емкостях с неподвижным уровнем жидкости способствуют следующие технические решения [7, 8]:**

*1. Ликвидация газового пространства.* Этого можно достичь:

а) предельным (полным) заполнением аппарата или емкости жидкостью. Здесь три опасности: перелив при переполнении аппарата жидкостью, разрушение аппарата и перелив при повышении температуры в полностью заполненном аппарате;

б) хранением жидкости (например, сероуглерода) под защитным слоем воды;

в) применением резервуаров с плавающей крышей, одновременно выполняющей роль внешней стационарной крыши;

г) применением резервуаров со стационарной крышей и плавающим понтоном;

д) применением емкостей с гибкими внутренними оболочками.

*2. Поддержание безопасного температурного режима.* Это достигается посредством систем контроля и регулирования. Рабочая температура поддерживается ниже нижнего или выше верхнего температурного предела воспламенения паров жидкости.

*3. Снижение концентрации паров горючей жидкости при заданной температуре ниже нижнего концентрационного предела воспламенения.* Это достигается:

а) применением высокостойких пен, эмульсий и полых микрошаров, плавающих на поверхности жидкости и препятствующих её испарению;

б) применением добавок, снижающих упругость паров и испаряемость жидкости.

*4. Введение негорючих (инертных) газов в газовое пространство аппарата.*

В результате данной операции либо снижается концентрация окислителя, либо он полностью замещается. Негорючими газами (флегматизаторами) могут быть азот, углекислый газ, водяной пар, выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания. Добавление инертных компонентов ухудшает горючие свойства среды. Область воспламенения при этом сужается вплоть до ее полной ликвидации при определенной (флегматизирующей) концентрации инертного компонента.

Флегматизирующие концентрации инертных газов (при достижении и превышении которых воспламенение невозможно) для смесей различных горючих веществ с воздухом приводятся в справочной литературе [4, 5].

Расход инертного газа определяют по объему газового пространства аппарата или по производительности аппарата.

**Предотвращению образования горючей среды в закрытых аппаратах и емкостях с подвижным уровнем жидкости способствуют следующие технические решения:**

- а) ликвидация газового пространства путем применения плавающих крыш и понтонов;
- б) введение негорючих (инертных) газов в газовое пространство аппарата;
- в) уменьшение скорости изменения уровня жидкости путем увеличения числа одновременно опорожняемых аппаратов;
- г) исключение или сокращение входа атмосферного воздуха в опорожняемый аппарат путем устройства газовой обвязки синхронно работающих аппаратов.

**Предотвращению образования горючей среды в закрытых аппаратах, емкостях и трубопроводах с газами способствуют следующие технические решения:**

1. Поддержание концентрации горючего газа в смеси с окислителем за пределами области воспламенения (если это допустимо по условиям технологии). Для этого на линиях, питающих аппарат, устанавливают автоматические регуляторы соотношения, расхода и давления газов.

2. Поддержание в газовых коммуникациях избыточного давления, предотвращающего подсос наружного воздуха через неплотности.

3. Непрерывный автоматический контроль содержания опасной примеси в газе (окислителя в инертном газе, окислителя в смеси горючего и инертного газов, горючего в окислителе). Для контроля содержания опасной примеси, аппараты и трубопроводы оборудуют стационарными автоматическими газоанализаторами и, кроме того, предусматривают блокировку на узлах задвижек, исключающую попадание примеси в технологический газовый поток.

4. Стабилизация зоны горения горючей смеси в защищенном пространстве реактора (аппарата, предназначенного для проведения технологических процессов) путем выбора скорости и режима движения горючей смеси, предотвращающих «проскок» пламени (перемещение зоны горения) в незащищенное пространство реактора либо других аппаратов.

5. Аварийное преднамеренное изменение состава горючей смеси, обеспечивающее быстрый перевод ее в негорючее состояние. Это достигается путем использования инертного разбавителя или путем прекращения подачи одного из компонентов горючей смеси, в некоторых случаях – прекращением подачи сразу двух компонентов.

**Предотвращению образования горючей среды в аппаратах и трубопроводах с наличием пыли способствуют следующие технические решения:**

1. Применение менее «пылящих» процессов измельчения.

2. Введение негорючих газов внутрь аппаратов в течение всего периода работы либо в наиболее опасные моменты. Добавление к горючей пыли минеральных веществ.

3. Устройство систем отсосов пыли из машин.

4. Использование негорючих газов для пневматической транспортировки наиболее опасных пылей.

5. Установление оптимальной скорости воздуха или негорючего газа и систематического контроля ее величины при пневматической транспортировке измельченных материалов с целью избежать осаждения пыли.

6. Конструктивное решение аппаратов и трубопроводов, обеспечивающее минимальное скопление осевшей пыли.

7. Использование вибраторов для предотвращения образования пробок пыли в бункерах и трубопроводах.

8. Предохранение стенок аппаратов и трубопроводов от увлажнения. Это достигается размещением аппаратов в отапливаемых помещениях, подогревом среды или аппаратов и устройств теплоизоляции при расположении аппаратов на открытых площадках или в неотапливаемых помещениях.

### **3.4. Пожаровзрывоопасность аппаратов, при эксплуатации которых возможен выход горючих веществ наружу без повреждения их конструкции**

К таким аппаратам относятся: аппараты с переменным уровнем жидкости («дышащие»); аппараты с открытой поверхностью испарения; аппараты периодически действующие, аппараты с сальниковыми уплотнениями.

Следует определить, имеются ли такие аппараты в технологической схеме.

*Аппараты с переменным уровнем жидкости.* Прежде всего, нужно указать, является ли выброс паровоздушной смеси через дыхательную трубу пожаровзрывоопасным. Концентрация паровоздушной смеси может быть взрывоопасной, если выполняется условие:

$$\phi_S \geq \phi_{НП}, \quad (12)$$

где  $\phi_S$  – концентрация насыщенного пара (об.доля) при рабочей температуре жидкости, определяемая по формуле:

$$\phi_S = \frac{p_S}{p_p}, \quad (13)$$

где  $p_S$  – давление насыщенного пара жидкости при рабочей температуре, Па;

$p_p$  – рабочее давление паровоздушной смеси в аппарате (абсолютное давление в герметичном аппарате или атмосферное давление  $p_{атм}$  в «дышащем» аппарате), Па.

Если неравенство (12) выполняется, следует определить, какое количество паров будет выходить наружу за один цикл «большого» или «малого» дыхания. Количество паров, которое может выйти из аппарата за один цикл «большого» дыхания определяется по формуле:

$$G_{II}^{\bar{b}} = V_{жс} \frac{P_{атм}}{T_p} \phi_{II} \frac{M}{R}, \quad (14)$$

где  $G_{II}^{\bar{b}}$  – количество выходящих паров из заполненного жидкостью аппарата, кг/цикл;

$V_{жс}$  – объем жидкости, поступающей в аппарат,  $m^3$ ;

$P_{атм}$  – атмосферное давление, Па;

$T_p$  – рабочая температура жидкости, К;

$\phi_{II}$  – концентрация паров жидкости в аппарате, об. доли;

$M$  – молекулярная масса паров жидкости, кг/кмоль;

$R = 8314,31$  Дж/(кмоль–К) – универсальная газовая постоянная.

Количество паров, которое может выйти из аппарата за один цикл «малого» дыхания определяется по формуле:

$$G_{II}^M = V_{св} P_{атм} \left( \frac{1 - \phi_{II1}}{T_1} - \frac{1 - \phi_{II2}}{T_2} \right) \frac{\phi_{II}}{1 - \phi_{II}} \cdot \frac{M}{R}, \quad (15)$$

где  $G_{II}^M$  – потери паров при «малом» дыхании, кг/цикл;

$V_{св}$  – свободный объем (объем паровоздушной смеси),  $m^3$ ;

$\phi_{II1}, \phi_{II2}$  – концентрация паров в смеси в начале и в конце дыхания соответственно, об. доли;

$T_1$  и  $T_2$  – температура паровоздушной смеси в начале и в конце дыхания соответственно, К;

$\phi_{II}$  – средняя концентрация паров в смеси, величина которой определяется по формуле:

$$\phi_{II} = \frac{\phi_{II1} + \phi_{II2}}{2} \quad (16)$$

Объем жидкости в аппарате можно определить из выражения:

$$V_{ж} = \varepsilon V_{ан}, \quad (17)$$

где  $\varepsilon$  – степень заполнения аппарата жидкостью;

$V_{ан}$  – геометрический объем аппарата, м<sup>3</sup>.

Объем взрывоопасной зона вблизи места выхода паров (газа) определяется по формуле:

$$V_{вок} = \frac{G_{II}}{\phi_H^*} K_{\sigma}, \quad (18)$$

где  $V_{вок}$  – объем взрывоопасной зоны, м<sup>3</sup>;

$\phi_H^*$  – нижний концентрационный предел распространения пламени, кг/м<sup>3</sup>;

$K_{\sigma}$  – коэффициент безопасности.

$K_{\sigma} = 2$  – для однородной парогазовоздушной смеси без источника зажигания в ней;

$K_{\sigma} = 4$  – для однородной парогазовоздушной смеси при возможности появления источника зажигания;

$K_{\sigma} = 20$  – для неоднородной парогазовоздушной смеси с источником зажигания в ней.

Количество паров, выделяющихся из дыхательных устройств определяется по формуле:

$$Q = \frac{G_n N \tau}{3600}, \quad (19)$$

где  $G_n$  – количество паров, выходящих из аппарата за один цикл, кг/цикл;

$N$  – количество циклов в течении часа,  $\text{ч}^{-1}$ ;

$\tau$  – продолжительность работы оборудования, с.

В справочной литературе НКПР ( $\phi_n$ ) определяют в % (об.). Перевод концентрационных пределов из объемных в массовые и наоборот производится по формулам:

$$КПР(\text{г} / \text{м}^3) = \frac{273 \times M \times КПР(\%об.)}{2,24T}, \quad (20)$$

$$КПР(\%об.) = \frac{2,24 \cdot T \cdot КПР(\text{г} / \text{м}^3)}{273 \cdot M}, \quad (21)$$

где  $M$  – молярная масса горючего;

$T$  – температура, К.

Пожароопасная загазованность прилегающей местности может возникнуть преимущественно при большихдыханиях, когда происходит мощный выброс смеси в атмосферу при значительной концентрации в ней горючих паров.

Максимальный горизонтальный размер зоны загазованности ( $X_{НКПР}$ ) у наземного стального резервуара на уровне планировочной отметки можно ориентировочно определить по формуле:

$$X_{НКПР} = \frac{6,8Q\phi_p}{U\phi_n H}, \quad (22)$$

где  $Q$  – объемный расход горючей смеси через дыхательный патрубок,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\phi_p$  – концентрация горючего компонента в смеси, об.доли;

$\phi_n$  – нижний концентрационный предел распространения пламени, об.доли;

$U$  – скорость ветра на высоте 2 м от уровня земли, м/с;

$H$  – высота источника выброса (резервуара), м.

Затем следует сделать общий вывод (с учетом пожаро-взрывоопасности сооружений, экономики и опасности выброса паров для окружающей среды), выяснить меры, принятые для снижения указанной опасности, и, если их недостаточно. рекомендовать дополнительные.

*В целях сокращения потерь паров жидкости и снижения пожаровзрывоопасности в окрестностях дышащих аппаратов целесообразно осуществлять следующие технические и организационные мероприятия:*

*1. Ликвидировать паровоздушное пространство в резервуарах.*

Техническими решениями, обеспечивающими ликвидацию паровоздушного пространства над поверхностью испарения хранимой жидкости, являются резервуары с понтоном или с плавающей крышей.

*2. Обеспечить постоянство объема газового пространства.*

Это техническое решение может быть осуществлено путем устройства газоуравнительной (газовой) обвязки двух или более резервуаров с одинаковыми жидкостями при условии синхронизации операций опорожнения и наполнения обвязанных резервуаров.

*3. Осуществить термоизоляцию резервуаров.*

Этому техническому решению соответствует также устройство подземных резервуаров, не подверженных воздействию суточных колебаний наружного воздуха.

*4. Окрасить резервуары светлыми лучеотражающими составами.*

Серебристая (алюминиевая) краска почти в два раза снижает потери по сравнению с черной окраской.

*5. Орошать резервуары водой посредством распылителей.*

Охлаждение крыши и стенок резервуара в местностях с жарким климатом приводит к снижению потерь в два раза.

6. *Осуществить герметизацию газового пространства резервуаров дыхательными клапанами.*

Это техническое решение позволяет прежде всего полностью устранить потери от выветривания паров из негерметичного газового пространства и, кроме того, сократить или исключить потери от малых дыханий.

7. *Осуществить устройство систем улавливания и утилизации паров.*

Для этой цели могут использоваться адсорбционные, абсорбционные, холодильные и компрессорные установки.

8. *Вывести дыхательные трубы за пределы помещения.*

Сами дышащие аппараты устанавливать в помещениях, а дыхательные трубы выводить за пределы помещения или присоединять к системе улавливания паров.

Для аппаратов с открытой поверхностью испарения производится расчет высоты опасной зоны над поверхностью испарения ([7, 8]):

$$h_{он} = \sqrt{12D\tau/(1-\varphi_s)} (1 - \sqrt{\varphi_n/\varphi_s}), \quad (23)$$

где  $D$  – коэффициент диффузии паров, м<sup>2</sup>/с;

$\tau$  – время испарения, с.;

$\varphi_s$  – концентрация насыщенных паров, об.доля;

$\varphi_n$  – НКПВ, об.доля.

Значение коэффициента диффузии паров можно взять из [4, 5] или определить расчетом по формуле [9]:

$$D = 1 \cdot 10^{-4} D_0 \left( \frac{273 + t_{жс}}{273} \right)^2, \quad (24)$$

где  $D_0$  – коэффициент диффузии  $i$ -го вещества в воздухе при 0 °С и 101325 Па, см<sup>2</sup>/с; (см. [9], табл. 1);

$t_{жс}$  – температура испарения жидкости, °С.

*Снижение пожаровзрывоопасности производств при наличии аппаратов с открытой поверхностью испарения обеспечиваются следующие технические решения:*

1. Изменение технологических схем (с наличием промывочных, окрасочных ванн и других подобных аппаратов с открытой поверхностью испарения) таким образом, что весь процесс, в том числе загрузка и выгрузка материала, осуществляется изолированно от окружающего воздуха.

2. Замена легковоспламеняющихся жидкостей негорючими или менее пожароопасными жидкостями или составами.

3. Выбор наиболее рациональной формы открытого аппарата, позволяющей иметь минимальную величину поверхности испарения.

4. Устройство систем отсоса и улавливания выделяющихся при испарении паров жидкости непосредственно у аппаратов.

5. Наличие специальных устройств защиты на случай пожара (крышки для закрывания аппаратов, аварийный слив жидкости, локальная установка пожаротушения).

Следует иметь в виду, что аппараты с открытой поверхностью испарения, где только позволяет технология, должны быть заменены закрытыми аппаратами. Однако это не всегда приводит к снижению пожарной опасности.

### **3.5. Анализ причин повреждения аппаратов и трубопроводов, разработка необходимых средств защиты**

Аппараты и трубопроводы могут повреждаться по следующим причинам:

- от образования повышенного давления;
- от проявления динамических воздействий;
- от образования высоких температурных напряжений в материале стенок или от изменения прочностных свойств материала в результате воздействия высоких и низких температур;
- от коррозии материала стенок или эрозии (механического истирания стенок).

Все вышеперечисленные причины рассматриваются для каждого аппарата своего варианта задания.

## Образование повышенного давления в аппаратах

При исследовании возможности образования повышенного давления в аппаратах следует:

1. *Установить, есть ли причины, приводящие к нарушению материального баланса:* увеличение производительности насоса, неисправность редуктора, увеличение интенсивности закачки, образование пробок в расходной линии, увеличение сопротивления дыхательной линии, уменьшение расхода продукта потребителем при неизменном его поступлении, перекрытие расходных линий задвижками, переполнение емкостей при отсутствии переливных линий или автоматики и т.п.

Если какие-либо из этих причин могут иметь место, их надо указать в работе и пояснить, почему именно эти причины характерны для данного случая.

Величину давления в линиях (для преодоления сопротивления и создания необходимой скорости движения продукта) определяют по формуле:

$$\Delta P = \lambda \frac{l_{\text{экв}} \omega^2}{2d} \rho_t \quad (25)$$

а общее давление из выражения  $P_k = P_n + \Delta P$ ,

где  $P_k$  – конечное давление в системе при увеличении сопротивления линий, Па;

$P_n$  – рабочее давление в сети, Па;

$\Delta P$  – потери давления при увеличении сопротивления линий, Па;

$\lambda$  – коэффициент сопротивления трения, определяемый в зависимости от режима движения продукта по формулам:

– при  $Re < 2300$  (ламинарный режим)  $\lambda = 64/Re$ ;

– при  $10 \frac{d}{\Delta} < Re < 500 \frac{d}{\Delta}$  (переходный режим):

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} ;$$

– при  $15 \times 10^3 < \text{Re} < 80 \times 10^3$  (турбулентный режим в гидравлических трубах):

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}};$$

– при  $\text{Re} > 500$  (турбулентный режим):

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta}{d} \right)^{0,25},$$

где  $d$  – внутренний диаметр трубопровода, м (определяется с учетом степени уменьшения диаметра  $\varepsilon$ ).

$$d_2 = d(1 - \varepsilon), \quad (\varepsilon \text{ принимают от } 0,1 - 0,55);$$

$\Delta$  – абсолютная шероховатость стенок труб, м;

$$\text{Re} = \frac{\omega d}{\nu} \text{ – число Рейнольдса};$$

$\omega$  – скорость движения продукта в трубопроводе, м/с;

$\nu$  – коэффициент кинематической вязкости при рабочей температуре, м<sup>2</sup>/с;

$l_{\text{экв}}$  – эквивалентная длина трубопровода с учетом наличия местных сопротивлений, м;

$\delta_t$  – плотность продукта при рабочей температуре, кг/м<sup>3</sup>.

$$\rho_t = \frac{MT_0 P_p}{V_0 T_p P_0}, \quad (26)$$

где  $P_0, P_p$  – соответственно атмосферное и рабочее давление, Па;

$T_0, T_p$  – соответственно температура при нормальных условиях (273К) и рабочая температура, К;

$M$  – молекулярная масса вещества, кг/кмоль;

$V_0$  – объем киломоля вещества (22,41 м<sup>3</sup>/кмоль).

В расчетах принимают следующие значения величины  $\Delta$  (м):

- для новых стальных цельнотянутых, а также оцинкованных труб  $\Delta = (0,1 - 0,2) \cdot 10^{-3}$ ;
- для новых чугунных труб  $\Delta = 0,3 \cdot 10^{-3}$ ;
- для цельнотянутых стальных труб с незначительной коррозией  $\Delta = (0,2-0,3)10^{-3}$ ;
- для цельнотянутых стальных труб, подвергнутых значительной коррозии,  $\Delta = 0,5 \cdot 10^{-3}$  и выше.

*Меры пожарной безопасности заключаются в следующем:*

– в установившемся процессе вводимые в систему потоки веществ, составляющие приходные статьи баланса, должны равняться потокам веществ, выводимым из системы, которые составляют расходные статьи баланса;

– во избежание аварий и повреждений следует: отдавать предпочтение центробежным насосам и компрессорам, подбирать центробежные насосы и компрессоры без значительного превышения их характеристик над номинальными; у поршневых насосов и компрессоров устраивать циркуляционную линию с перепускным клапаном; использовать устройства, автоматически регулирующие работу насоса или компрессора в зависимости от величины давления в линии;

– для предупреждения образования пробок в линиях производят очистку веществ от взвешенных твердых частиц и солей, не допускают образования отложений кокса, полимеров, льда, кристаллогидратов;

– аппараты и трубопроводы, расположенные на открытых площадках и в неотапливаемых помещениях, защищают теплоизоляцией, прокладывают параллельно трубам паровые спутники.

2. *Установить, могут ли быть явления, вызывающие повышение температурного режима работы аппарата:* повышение температуры поступающего в аппарат вещества, повышение температуры подогрева аппарата, ухудшение процесса охлаждения аппарата, увеличение скорости экзотермических реакций и т.п.

Если какие-либо из этих явлений имеют место, их следует указать. При этом можно показать расчетом, насколько может повыситься давление в аппаратах с жидкостями или газами при повышении температур на определённую величину.

Так давление в герметичных аппаратах с газами или перегретыми парами при повышении температуры определяют по формуле:

$$P_{\kappa} = P_{\text{н}} \frac{T_{\kappa}}{T_{\text{н}}} \cdot Z, \quad (27)$$

где  $P_{\text{н}}$  – начальное давление в аппарате, Па;

$T_{\text{н}}, T_{\kappa}$  – соответственно начальная и конечная температура газа, К;

$Z$  – коэффициент сжимаемости газа.

Конечное давление в аппаратах с насыщенными парами жидкостей и наличием жидкой фазы (при изменении температуры) определяют из выражения:

$$P_{\kappa} = P_{\text{с}} = f(T_{\kappa}), \quad (28)$$

где  $P_{\text{с}}$  – давление насыщенного пара при температуре  $T_{\kappa}$ , Па.

Приращение давления (при повышении температуры) в герметичном аппарате или участке трубопровода, полностью заполненном жидкостью, определяется по формуле:

$$\Delta p = \frac{\beta - 3\alpha}{\beta_{\text{сж}}} \Delta T, \quad (29)$$

где  $\beta$  – коэффициент объемного расширения жидкости;

$\beta_{\text{сж}}$  – коэффициент объемного сжатия жидкости;

$\alpha$  – коэффициент линейного расширения материала стенок аппарата,  $\text{К}^{-1}$ ;

$\Delta T = T_{\kappa} - T_{\text{н}}$  – изменение температуры в аппарате, К.

Общее давление в аппарате будет:

$$P_{\text{общ}} = P_{\text{раб}} + \Delta P, \quad (30)$$

где  $P_{\text{раб}}$  – рабочее давление в аппарате, МПа;

$\Delta P$  – приращение давление в системе, МПа.

3. Установить, может ли быть явление, приводящее к нарушению нормального процесса конденсации паров: (уменьшение или прекращение подачи охлаждающей среды, загрязнение теплообменной поверхности). Если это явление может иметь место, пояснить его и определить величину приращения давления по формуле:

$$\Delta P = P_0 \frac{\alpha \cdot G_{II} \tau}{100 \cdot V_{св} \rho}, \quad (31)$$

где  $\Delta P$  – приращение давления в системе, Па;  
 $\alpha$  – степень полноты конденсации паров, %;  
 $G_{II}$  – производительность по пару, кг/с;  
 $\tau$  – продолжительность нарушения процесса конденсации паров, с;  
 $P_0$  – давление окружающей среды, Па;  
 $V_{св}$  – свободный объем аппарата или системы, м<sup>3</sup>;  
 $\rho$  – плотность паров жидкости при температуре и давлении в аппарате, кг/м<sup>3</sup>.

4. Установить, могут ли быть причины, приводящие к попаданию в высоконагретые аппараты легкокипящих жидкостей. Если это возможно, объяснить и подтвердить расчетом, к каким последствиям это может привести. Приращение давления при попадании в высоконагретые аппараты легкокипящих жидкостей определяется по формуле:

$$\Delta P = 0,082 \cdot P_0 \frac{m \cdot (t_p + 273)}{M \cdot V_{св}}, \quad (32)$$

где  $m$  – масса низкокипящей жидкости, попавшей и испарившейся в аппарате, кг;

$t_p$  – рабочая температура в высоконагретом аппарате, °С;  $M$  – молекулярная масса жидкости, попавшей в аппарат, кг/кмоль.

Если доказали, что возможно образование повышенного давления в аппарате, то следует проверить, защищен ли он предохранительным клапаном. Если клапана нет, определить необходимую площадь его сечения по формуле:

$$F = \frac{7,141 \cdot 10^{-4} \cdot G_{max}}{\alpha \cdot B \sqrt{(P_{cp.k} - P_{ex}) \rho_t}}, \quad (33)$$

где  $F$  – необходимая площадь проходного сечения пружинного предохранительного клапана, м<sup>2</sup>;

$G_{max}$  – максимальная производительность клапана по парогазовой среде, кг/с;

$\alpha$  – коэффициент расхода среды через клапан ( $\alpha = 0,06 - 0,17$  приводится в паспорте клапана);

$P_{cp.k}$  – избыточное давление срабатывания клапана, Па ( $P_{cp.k} = P_{cp} - 1 \cdot 10^5$ );

$P_{ex}$  – избыточное давление среды за предохранительным клапаном, Па; при сбросе паров или газов в атмосферу непосредственно с клапана  $P_{ex} = 0$ ;

$\rho_t$  – плотность среды в аппарате при срабатывании ПК и рабочей температуре, кг, м<sup>3</sup>.

Максимальная производительность пружинного предохранительного клапана по парогазовой среде определяется по формуле:

$$G_{max} = 1,41 \alpha F_k B \sqrt{(P_{cp} - P_{ex}) \rho}, \quad (34)$$

где  $F_k$  – фактическая площадь проходного сечения клапана:

$$F_k = 0,785 d_c^2, \quad (35)$$

где  $d_c$  – диаметр сопла предохранительного клапана, м;

$B$  – коэффициент, зависящий от отношения  $P_{ex}/P_{cp}$  и показателя адиабаты [11]; для жидкостей (если через клапан выходит жидкость) он принимается равным единице.

Давление срабатывания предохранительного клапана зависит от рабочего давления в аппарате и определяется следующим образом:

Рабочее (избыточное) давление, $P_{p.и.}$ $P_{p.и.} = P_p - 0,1 \text{ МПа}$	Давление срабатывания (избыточное), $P_{ср.и.}$
Менее 0,3 МПа	$P_{p.и.} + 0,05 \text{ МПа}$
$0,3 \text{ МПа} \leq P_{p.и.} < 6 \text{ МПа}$	$1,15 P_{p.и.}$
6 МПа и более	$1,1 P_{p.и.}$

### Образование динамических воздействий в аппаратах

При исследовании возможности образования динамических воздействий в аппаратах необходимо выяснить:

- могут ли быть опасные вибрации;
- могут ли быть гидравлические удары и по каким причинам.

Приращение давления в трубопроводе при полном гидравлическом ударе определяется по формуле Н. Е. Жуковского:

$$\Delta P = c \cdot \Delta w \cdot \rho, \quad (36)$$

где  $c$  – скорость распространения ударной волны:

$$c = \sqrt{\frac{E_{ж}}{\rho}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{E_{ж} \cdot d}{E \cdot s}}}, \quad (37)$$

где  $d$  – внутренний диаметр трубопровода;

$s$  – толщина стенки трубопровода;

$E$  – модуль упругости материала трубопровода, Па;

$E_{ж}$  – модуль упругости жидкости (величина, обратная коэффициенту объемного сжатия жидкостей  $\beta_{сж}$ );

$\rho$  – плотность жидкости при рабочей температуре,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\Delta w$  – уменьшение скорости движения жидкости в трубопроводе, м/с;

$$\Delta w = w_{нач} - w_{кон},$$

где  $w_{нач}$ ,  $w_{кон}$  – начальная и конечная скорости движения продукта в трубопроводе, м/с; (часто  $w_{кон} = 0$ )

### **Образование температурных напряжений или уменьшение прочностных свойств материала стенок аппаратов**

При исследовании возможности образования температурных напряжений или уменьшения прочностных свойств материала стенок аппаратов следует установить:

- есть ли в аппаратах жестко соединенные конструкции (например, кожухотрубчатые теплообменники длиной более 2 м, жестко закрепленные трубопроводы и т.п.);

- есть ли толстостенные аппараты;

- могут ли на материал стенок аппаратов (в данном случае) действовать высокие температуры (например, температуры пламени печей). Если такая угроза имеется, определить расчетом температуру стенки аппарата в месте возможного прогара):

- представляет ли опасность действие низких температур (минус 30 °С и ниже) на аппараты, размещенные на открытых площадках. Если аппараты выполнены из материала Ст. 3 кипящих мартеновских плавок и не имеют теплоизоляции, предложить соответствующую защиту.

Если аппарат при изменении температуры свободно меняет свои размеры, то повреждения не произойдет. Изменение длины конструкции ( $\Delta l_t$ ) при этом будет равно:

$$\Delta l_t = \alpha \cdot l \cdot \Delta t, \quad (38)$$

где  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения материала конструкции,  $^{\circ}\text{C}^{-1}$  (для стальных труб  $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ );

$l$  – длина конструкции, м;

$\Delta t$  – изменение температуры,  $^{\circ}\text{C}$ .

В жестко заземленной конструкции, при изменении температуры возникнут температурные напряжения ( $\sigma_t$ ), величину которых можно определить по формуле:

$$\sigma_t = \alpha \cdot E \cdot \Delta t, \quad (39)$$

где  $E$  – модуль упругости материала,  $\text{кг}/\text{см}^2$  (для стальных труб  $E = 2,1 \cdot 10^6$ ).

Температурные напряжения в стенках толстостенных аппаратов, у которых отношение наружного диаметра аппарата к внутреннему ( $\beta = D_i / D_a > 1,5$ ) рассчитываются по формулам:

а) на внутренней поверхности:

$$\sigma_t^e = \frac{\alpha E (t_n - t_e)}{2(1 - \mu)} \left( \frac{2\beta^2}{\beta^2 - 1} - \frac{1}{\ln \beta} \right), \quad (40)$$

б) на наружной поверхности:

$$\sigma_t^h = \frac{\alpha E (t_n - t_e)}{2(1 - \mu)} \left( \frac{2\beta^2}{\beta^2 - 1} - \frac{1}{\ln \beta} \right), \quad (41)$$

где  $t_n, t_e$  – температура соответственно на наружной и внутренней поверхности,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\mu$  – коэффициент Пуассона (для сталей  $\mu = 0,25 - 0,33$ ; для меди  $\mu = 0,31 - 0,34$ ; для чугуна  $\mu = 0,23 - 0,27$ ; для алюминия  $\mu = 0,32 - 0,36$ )

Полученный при вычислении знак указывает на характер напряжения: знак плюс соответствует растяжению, знак минус – сжатию.

При  $\sigma_t^{h,e} > [\sigma]$  возникает опасность повреждения аппарата.

Разгрузка трубопроводов от температурных напряжений осуществляется установкой температурных компенсаторов:

линзовые, гнутые (П-образные, лирообразные и др.) и сальниковые.

**При исследовании причин, приводящих к химическому износу материала (коррозии), следует установить:**

- обладает ли коррозионными свойствами продукт, находящийся в аппарате;
- имеет ли продукт в своем составе коррозионные примеси: сернистые соединения, хлористые соли, кислоты и др.;
- может ли продукт, взаимодействуя с водой, разлагаться с образованием слабых кислот.

По всем выявленным характерным причинам поврежденных следует проверить наличие средств защиты и при необходимости предложить дополнительные.

Исходя из основных закономерностей коррозионных процессов используют следующие направления борьбы с ней:

- применение коррозионно-устойчивых металлов;
- изоляция металлов от агрессивной среды защитными покрытиями;
- уменьшение коррозионной активности среды;
- использование неметаллических химически стойких материалов;
- катодная и протекторная защита.

### **3.6. Анализ возможности появления характерных технологических источников зажигания**

При выяснении возможности появления технологических источников зажигания следует:

- *установить*, есть ли на данном производстве аппараты, работа которых связана с использованием открытого огня, например, трубчатые печи, огневые реакторы и т.п. Рассмотреть, как они расположены по отношению к соседним аппаратам, предусмотрены ли меры, исключаящие контакт горючих веществ с факелами пламени при авариях на установке. Если отсутствует защита или о ней нет сведений, предложить ее;

- *установить*, есть ли опасно нагретые поверхности аппаратов, т. е. поверхности, температура которых превышает 80 % температуры самовоспламенения веществ, обращающихся в производстве;

- *выявить*, может ли иметь место опасное тепловое проявление химических реакций; наличие в аппаратах веществ, нагретых до температуры, превышающей температуру их самовоспламенения; наличие веществ или отложений на стенках, способных самовозгораться при соприкосновении с воздухом, а также способных воспламеняться при взаимном контакте, контакте с воздухом или при соприкосновении с водой;

- *указать*, какие мероприятия следует осуществить, чтобы исключить подобные источники зажигания;

- *выявить* возможность образования источников зажигания от теплового проявления механической энергии; при наличии конвейеров, аппаратов с мешалками, при использовании скребковых инструментов для очистки поверхности, при открытии люков загрузочных (световых и замерных) на аппаратах источниками зажигания могут являться искры от механических ударов, перегревы подшипников и т.п.);

- *установить* возможность появления источников зажигания от теплового проявления электрической энергии: при наличии перемещения диэлектриков – разряды статического электричества; при наличии массивных и высоких аппаратов на открытых площадках (резервуары, этажерки, колонны и т. д.) – разряды атмосферного электричества и т. п.

Подшипники перегруженных и скоростных валов машин при различных нарушениях режима работы (отсутствие смазки, охлаждения, загрязнения трущихся поверхностей, перекосы, перегрузки и т.п.) перегреваются до опасных температур.

Температуру подшипника при работе с перегрузкой и недостаточном охлаждении определяют по формуле [7,8]:

$$T_n = T_c + \frac{Q_{mp}}{\alpha F}, \quad (42)$$

где  $T_n$  – максимальная температура подшипника, К;  
 $T_v$  – температура окружающей среды (воздуха), К;  
 $Q_{mp}$  – мощность сил трения при работе подшипника, Вт;  
 $\alpha$  – коэффициент теплообмена между поверхностью подшипника и средой, Вт/(м<sup>2</sup>К);  
 $F$  – поверхность корпуса подшипника, м<sup>2</sup>.

Величину  $Q_{mp}$  определяют по формулам:

$$Q_{mp} = \frac{fNd\omega}{2}, \text{ или } Q_{mp} = \frac{\pi \cdot fNdn}{60}, \quad (43)$$

где  $f$  – коэффициент трения (табл. 2);  
 $N$  – радиальная сила, действующая на подшипник, Н;  
 $d$  – диаметр шейки вала, м;  
 $\omega$  – угловая скорость, рад/с;  
 $n$  – число оборотов вала, об/мин.

В случае если температура подшипника больше температуры самовоспламенения обрабатываемых в производстве веществ  $T_n > T_{cv}$  возможно воспламенение горючей среды.

Таблица 2

*Коэффициент трения некоторых трущихся тел*

<i>Материал трущихся тел</i>	<i>Коэффициент трения, f</i>	
	<i>насухо</i>	<i>со смазкой</i>
Сталь – сталь	0,15	0,05 – 0,10
Сталь – чугун	0,18	0,05 – 0,15
Сталь – бронза	0,15	0,10 – 0,15
Чугун – чугун	0,15	0,07 – 0,12
Чугун – бронза	0,15 – 0,20	0,07 – 0,15
Бронза – бронза	0,20	0,07 – 0,10
Резина – чугун	0,80	0,50

– при наличии компрессоров – не только перегрев подшипников, но и перегрев газа от теплоты адиабатического сжатия (температуру газа можно определить расчетом).

Процесс сжатия газа в компрессоре сопровождается выделением тепла. Определить конечную температуру газа после завершения процесса сжатия можно по формуле:

$$T_{\kappa} = T_{\text{н}} \left( \frac{P_{\kappa}}{P_{\text{н}}} \right)^{\frac{n-1}{n}}, \quad (4.4)$$

где  $T_{\text{н,к}}$  – начальная и конечная температура газа,  $^{\circ}\text{К}$ ;

$P_{\text{н,к}}$  – начальное и конечное давление, Па;

$n$  – показатель политропы ( $n = 0,7-0,9$ ) К, где К – показатель адиабаты. Показатель адиабаты можно найти в [11].

### 3.7. Возможные пути распространения пожара

При рассмотрении данного вопроса следует указать, какие масштабы может принять возникший пожар, как быстро он может распространиться, какую опасность представит для аппаратов, зданий и сооружений, каковы могут быть последствия. После такой общей характеристики следует:

1. Установить, какое количество горючих веществ (примерно) может находиться одновременно на установке; какова удельная загрузка, а, следовательно, возможная длительность и примерная температура пожара. Выяснить, есть ли возможность уменьшения количества горючих веществ при аварии и пожаре, установить наличие аварийных сливов и аварийного стравливания горючих газов и т. п.

2. Выяснить, возможно ли растекание горючих жидкостей (в случае аварии или пожара) по территории или помещению. Какие меры предусмотрены для ограничения свободного растекания жидкостей.

3. Установить, возможно ли образование на данной производственной территории газового облака (при аварии аппаратов), каковы пути его распространения, какие меры необходимо принять для снижения этой опасности.

4. Выявить, имеются ли на данном производстве такие коммуникации, по которым может распространяться огонь при пожаре: дыхательные линии; линии паровоздушных смесей; линии с горючими жидкостями, работающие неполным сечением или периодического действия; воздухопроводы вентиляции, в том числе с наличием горючих отложений на внутренней поверхности и т.п.

При отсутствии соответствующей защиты по указанным выше направлениям предложить ее. Затем следует дать расчет гравийного огнепреградителя (т.е. определить диаметр зерна гравия и высоту слоя огнетушащей насадки) для защиты дыхательной или другой линии, которая требует защиты.

Критический диаметр отверстий огнепреградителя определяется по формуле [1]:

$$d_{кр} = \frac{Pe \cdot \lambda \cdot R \cdot T}{u_n \cdot c_p \cdot p_p}, \quad (45)$$

где  $Pe = 65$  – критерий Пекле на пределе гашения пламени;  
 $p_p = 10^5$  – атмосферное давление, Па;  
 $\lambda$  – коэффициент теплопроводности горючей смеси, Вт/(м К);  
 $T$  – температура окружающей среды К;  
 $u_n$  – нормальная скорость распространения пламени, м/с;  
 $c_p$  – удельная теплоемкость горючей паровоздушной смеси, Дж/(кг К),

$$c_p = \phi_{II} \cdot c_{pг} + (1 - \phi_{II}) \cdot c_{pв}, \quad (46)$$

где  $c_{pг}, c_{pв}$  – удельная теплоемкость соответственно газа или пара и воздуха;

$\phi_{II}$  – концентрация паров ЛВЖ в воздухе, об. доли.

Коэффициент теплопроводности горючей смеси находится по формуле:

$$\lambda = \phi_{\Pi} \cdot \lambda_2 + (1 - \phi_{\Pi}) \cdot \lambda_6, \quad (47)$$

где  $\lambda_6$  – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/м·К;  
 $\lambda_2$  – коэффициент теплопроводности паров ЛВЖ, Вт/м·К;  
 $R$  – газовая постоянная горючей смеси, Дж/ кг К.

Для обеспечения надежности гашения пламени фактический диаметр  $d_{\phi}$  каналов огнепреградителя должен быть меньше критического, т.е.:

$$d_{\phi} < \frac{d_{кр}}{K_n}, \quad (48)$$

где  $K_n$  – коэффициент запаса надежности,  $K_n \geq 2$ .

5. Выяснить, есть ли возможность уменьшения количества горючих веществ при аварии и пожаре, установить наличие аварийных сливов и аварийного стравливания горючих газов и т.п.

Необходимый диаметр трубопровода аварийного слива можно определить по формуле:

$$d_{mp} = 0,758 \sqrt{\frac{V_{жс}}{\tau_{опор} \phi_{сист} (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})}}, \quad (49)$$

где  $\tau_{опор} = 15 \text{ мин} = 900 \text{ с}$  – время опорожнения;

$H_1, H_2$  – соответственно максимальный и минимальный уровень жидкости в аппарате при аварийном сливе, м;

$V_{жс}$  – объем сливаемой жидкости, м<sup>3</sup>;

$\phi_{сист}$  – коэффициент расхода системы, определяемый по формуле:

$$\phi_{\text{сист}} = \sqrt{\frac{1}{1 + 3 \sum \zeta_{\text{сист}}}}, \quad (50)$$

где  $\sum \zeta_{\text{сист}}$  – суммарный коэффициент местных сопротивлений системы аварийного слива, определяемый из выражения:

$$\sum \zeta_{\text{сист}} = \zeta_{\text{вх}} + \zeta_{\text{з}} + \zeta_{\text{п}} + \zeta_{\text{вых}} + \zeta_{\text{з}}, \quad (51)$$

где –  $\zeta_{\text{вх}}, \zeta_{\text{з}}, \zeta_{\text{п}}, \zeta_{\text{вых}}, \zeta_{\text{з}}$ , – соответственно коэффициенты местных сопротивлений входа в аварийный трубопровод, гидрозатвора, поворотов, выхода из трубопровода в аварийную емкость и задвижек.

Аварийный трубопровод обычно имеет вход с плавными закруглениями, задвижку с электроприводом, гидравлический затвор, два плавных поворота, с учетом поворота  $90^0$  при  $R=5d_{\text{тр}}$ .

Величину коэффициента местного сопротивления выходу ЛВЖ из трубопровода в аварийную емкость можно принять  $\zeta_{\text{вых}} = 0,5$ . Для входа в аварийный трубопровод из аппарата  $\zeta_{\text{вх}} = 0,5$ ; для задвижки  $\zeta_{\text{з}} = 0,5$ ; гидрозатвора  $\zeta_{\text{з}} = 1,3$ ; двух поворотов  $\zeta_{\text{п}} = 0,5$ .

6. Установить, в каких помещениях и для каких аппаратов следует иметь стационарные системы пожаротушения. Проверить, имеются ли они на данном производстве. При необходимости защиты аппаратов или помещений стационарными системами пожаротушения предложить их.

### **3.8. Расчет категории производственного помещения по взрывопожарной и пожарной опасности**

Определение категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности в соответствии с СП 12.13130.2009 [12]

следует осуществлять путем последовательной проверки принадлежности помещений к категориям, приведенным в табл. 1 [12] – от высшей (А) к низшей (Д). В качестве расчетного критерия взрывопожарной опасности следует выбирать наиболее неблагоприятный вариант аварии, исходя из проведенного анализа пожарной опасности технологического процесса, в соответствии с вариантом задания на курсовую работу.

Количество поступивших в помещение горючих веществ определяется, исходя из следующих предпосылок:

а) происходит расчетная авария аппарата, содержащего наибольшее количество самого пожаровзрывоопасного вещества;

б) все содержимое аппарата поступает в помещение;

в) происходит одновременно утечка веществ из трубопроводов, питающих аппарат в течение расчетного времени.

Расчетное время определяется из СП 12.13130.2009 [12], исходя из того, что при наличии автоматической системы отключения оно не обеспечено резервированием ее элементов, а при отсутствии автоматической системы отключение задвижек производится ручным способом.

г) происходит испарение с поверхности разлившейся на полу помещения жидкости;

д) длительность испарения жидкости принимают равной времени ее полного испарения, но не более 3600 с.

Критерием оценки взрывопожарной и пожарной опасности помещений является избыточное давление взрыва, которое определяется для индивидуальных веществ (стирол, этилбензол, ацетон, метиловый спирт и т. п.) по формуле А.1 [12], а для смесей (нефть, бензин, дизельное топливо и т. п.), а также для индивидуальных веществ, кроме упомянутых в п. А.2.1 [12], по формуле А.4 [12].

Наличие аварийной вентиляции учитывается в соответствии с п. А.2.3, масса газа, поступившего в помещение, определяется по п. А.2.4, масса паров жидкости – по п. А.2.5 [12]. В расчетах интенсивности испарения следует учесть рекомендации п. А.2.5 [12].

Если согласно расчету категория производственного помещения по взрывопожарной опасности относится к категории А или Б, то следует определить требуемую площадь легкосбрасываемых конструкций.

### **3.9. Определение категории наружной установки**

Категорирование наружных установок производится на основе критериев пожарной опасности, к которым относятся [13]:

- класс (вид) горючих веществ и материалов и показатели их пожарной опасности;
- индивидуальный риск при сгорании газо–, паро– или пылевоздушных смесей\*;
- индивидуальный риск при сгорании веществ и материалов\*;
- горизонтальный размер зоны газо– или паровоздушной смеси\*;
- избыточное давление и импульс волны давления при сгорании газо–, паро– или пылевоздушной смеси\*;
- интенсивность теплового излучения при горении твердых материалов, проливов ЛВЖ и ГЖ, а также при образовании огненного шара\*.

*Примечание:*

1. Отмеченные звездочкой критерии имеют нормируемые численные значения, которые приведены в СП12.13130–2009.
2. Количественная оценка критериев пожарной опасности выполняется с помощью методов, приведенных в приложении 3 к методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах, утвержденной приказом МЧС РФ от 10.07.2009г. № 404 с изменениями от 14.12.2010г.

### **3.10. Разработка пожарно-технической карты**

После анализа пожарной опасности, разработки пожарно-профилактических мероприятий, определения категории помещения и наружной установки по взрывопожарной и пожарной

опасности следует разработать пожарно–техническую карту, которая выполняется в виде чертежа в соответствии с требованиями ЕСКД на стандартном листе чертежной бумаги (формат А1). Пожарно–техническая карта включает принципиальную технологическую схему производства, схему размещения оборудования и материалов, факторы пожарной опасности и мероприятия по защите. Составные части карты (рис.1) целесообразно разместить следующим образом: принципиальная технологическая схема, схема размещения оборудования и материалов, а при необходимости и разрез здания – на площади 2/3 основного формата. На оставшейся 1/3 части формата целесообразно дать характеристику пожарной опасности и меры пожарной защиты (с полями связки), спецификацию и штамп.

При разработке принципиальной технологической схемы следует руководствоваться рекомендациями:

- показать одну технологическую линию, если их несколько однотипных;

- исключить систему обвязки оборудования трубопроводами теплоснабжения;

- исключить системы КИП и автоматики;

- исключить резервное оборудование.

На плане размещения оборудования следует указать: основные размеры помещения, расстояние между аппаратами и до стен технологического оборудования, вероятное место наиболее опасной аварии (пожара, взрыва).

Факторы пожарной опасности процесса отражают:

- пожаровзрывоопасные свойства веществ;

- возможность возникновения пожара (место, причины);

- возможные пути распространения пожара;

- опасность для жизни людей;

- опасность для материальных ценностей;

- характеристики общей опасности (категории);

- наиболее опасные участки.

В таблице факторов пожарной опасности и мероприятий по защите указываются: в графе 1 (поле связки) номер аппарата, где имеется тот или иной вид опасности, соответствующей графе 2; в графе 2 кратко излагаются наиболее характерные виды

пожарной опасности в соответствии с выполненным анализом пожарной опасности в разделах 3.1 – 3.9 настоящих методических рекомендаций для самостоятельной работы; в графе 3 (поле связки для мер пожарной защиты) указываются номера аппаратов, на которых предусмотрена защита в соответствии с перечнем мер защиты, разработанных в курсовом проекте и приведенных в графе 4.

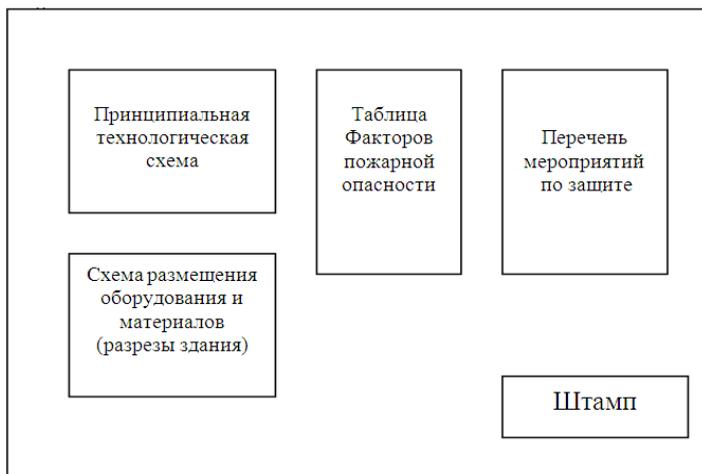


Рис. 1. Размещение частей пожарно–технической карты на чертежном листе

Меры пожарной защиты целесообразно приводить в соответствии с порядком изложения пожарной опасности, т.е. если в графе 2 приводится вид опасности, то в графе 4 следует указать меры защиты, предлагаемые в курсовом проекте или имеющиеся в описании технологического процесса производства.

Рекомендации по разработке пожарно–технической карты более подробно изложены в работе [7].

## **4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ДЛЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

### **4.1. Хранение ЛВЖ в резервуарном парке предприятия (номера зачетных книжек от 00 до 23)**

В состав резервуарного парка входят: группа резервуаров для хранения химического продукта, здания насосных с насосами для перекачки химического продукта, трубопроводы с арматурой, железнодорожная сливная и автомобильная наливная эстакады.

В исходных данных необходимо, исходя из варианта задания и месторасположения резервуарного парка, отразить его состав и климатические параметры района, которые являются источником существенных тепловых изменений, происходящих в резервуаре.

Значения среднемесячной температуры и максимальной амплитуды колебаний температуры окружающего воздуха для регионов России приведены в СП 131.13330.2012 «Строительная климатология» [15].

#### **Технологическая схема процесса, основное оборудование и его размещение**

Продукты поступают на железнодорожную сливную эстакаду 1 (рис. 2) в железнодорожных цистернах 2, сливаются из них с помощью приборов для нижнего 3 или верхнего 3' слива в коллектор 4, откуда откачиваются насосом 5 и направляются на хранение в резервуары 7 или на автомобильную эстакаду 9, оборудованную приборами для верхнего налива автомобильных цистерн 8.

Коллектор оборудован дыхательной линией (вантузом), установленной в его торце и защищенной кассетным огнепреградителем. Основными аппаратами в резервуарном парке являются вертикальные цилиндрические резервуары без понтонов (рис.3). Помимо указанных на рисунке устройств, на каждом резервуаре имеются устройства для отбора проб, для удаления

подтоварной воды, площадка обслуживания оборудования на крыше, люк-лаз, световые, монтажный и замерный люки. Резервуары оборудованы прямо-раздаточными патрубками, на которых установлены ( со стороны резервуаров) хлопушки с местным приводом.

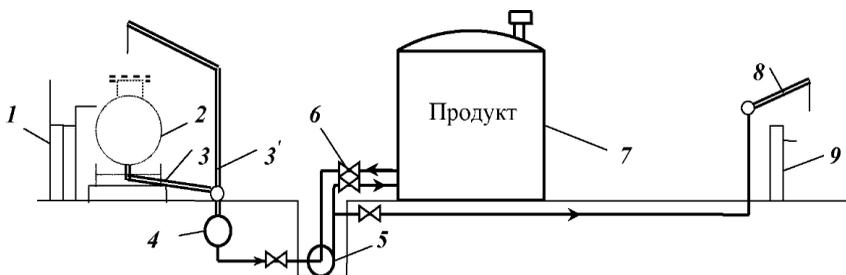


Рис. 2. Принципиальная схема резервуарного парка:

1 – железнодорожная сливная эстакада; 2 – ж/д цистерна; 3, 3' – приборы для нижнего и верхнего слива нефтепродуктов; 4 – коллектор; 5 – насос; 6 – коренные задвижки; 7 – резервуар; 8 – стойка для налива нефтепродуктов; 9 – автомобильная наливная эстакада

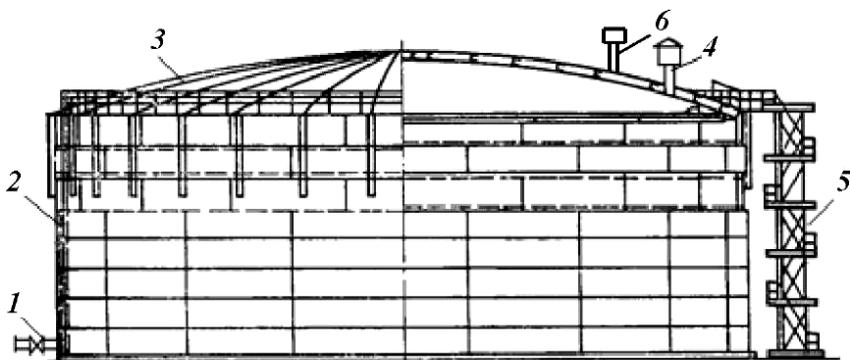


Рис. 3. Общий вид резервуара со стационарной крышей без понтона (типа РВС):

1 – прямо-раздаточный патрубок с хлопушкой; 2 – корпус; 3 – крыша; 4 – дыхательный клапан; 5 – маршевая лестница; 6 – предохранительный клапан

Дыхательные патрубки на резервуарах с хранимым химическим продуктом оборудованы дыхательными кланами типа НДКМ и предохранительными гидравлическими клапанами с огнепреградителями.

Резервуары оснащены приборами для местного и дистанционного измерения уровня и температуры химического продукта, автоматической сигнализации верхнего и нижнего предельных уровней взлива, средствами автоматического обнаружения пожара, устройствами молниезащиты, защиты от статического электричества и другими устройствами. По периметру каждой группы резервуаров предусмотрена ограждающая стена из сборного железобетона высотой 0,7 м.

На схеме конструкции и оборудования резервуара указать его основные параметры (емкость, диаметр, высота, толщина стенки верхнего пояса). Основные размеры РВС со стационарной крышей приведены в СНиП 2.11.03–93 «Склады нефти и нефтепродуктов. Противопожарные нормы».

Студенты, у которых номер зачетной книжки имеет две последние цифры от 00 до 11, после краткого изложения сущности технологического процесса, должны дать анализ пожарной опасности аппаратов, определить расчетным путем категорию наружных установок по пожарной опасности, размеры взрывоопасной зоны и условную вероятность поражения человека. Данные по аппаратам, помещению и району расположения терминала приведены в табл. 2.

Студенты, у которых номер зачетной книжки имеет две последние цифры от 12 до 23, после краткого изложения сущности технологического процесса, должны дать анализ пожарной опасности аппаратов, определить расчетным путем категорию помещения по взрывопожарной и пожарной опасности и возможную степень разрушения здания. Данные по аппаратам, помещению и месту расположения терминала приведены в табл. 3.

Таблица 2

Поз. на рис. 2,3	Исходные данные	Данные для вариантов											
		00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
		Резервуар РВС с химическим продуктом											
7	Номинальный объем РВС, м <sup>3</sup>	400	100	200	300	400	300	200	100	500	400	200	100
	Степень заполнения РВС	0,85	0,90	0,95	0,90	0,85	0,90	0,95	0,85	0,90	0,95	0,90	0,90
	Отключение ко- ренных задвижек	мест	дист	мест	дист	мест	дист	мест	дист	мест	дист	мест	дист
	Количество дыхательных клапанов, шт.	1	1	1	1	2	2	2	1	1	2	2	1
	Пропускная способность дыхательного клапана, м <sup>3</sup> /ч	100	25	25	100	100	100	25	25	50	100	25	25
	Количество предохранитель- ных клапанов, шт.	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	1
	Пропускная спо- собность пред. клапана, м <sup>3</sup> /ч	10	15	15	50	50	50	15	15	10	50	15	15

Поз. на рис. 2,3	Исходные данные	Данные для вариантов											
		00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
		Насос центробежный для перекачки химического продукта											
5	Производительность, м <sup>3</sup> /ч	35	40	80	120	150	140	90	40	35	160	70	40
	Напор, м	20	20	30	40	40	30	20	20	20	40	20	
	Отключение	Авт.	Руч.	Авт.	Руч.	Авт.	Руч.	Авт.	Руч.	Авт.	Руч.	Авт.	Руч.
	Диаметр всасывающей линии, мм	90	100	115	120	125	110	120	100	90	120	120	100
	Диаметр нагнетательной линии, мм	60	60	65	60	65	65	65	60	60	60	65	60
	Наличие обратного клапана на нагнетательной линии насоса	Нет	Да	Нет	Да	Нет	Да	Нет	Да	Нет	Да	Нет	Да
	Вид уплотнения вала	СУ	СУ	СУ	СУ	СУ	СУ	СУ	СУ	СУ	СУ	СУ	СУ
	Диаметр вала насоса, мм	30	35	40	30	35	40	30	45	30	45	35	30

Поз. на рис. 2,3	Исходные данные	Данные для вариантов											
		00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
<b>Помещение насосной станции для перекачки химического продукта</b>													
2	Длина помещения, м	6	6	6	8	6	6	6	8	6	8	6	6
	Ширина помещения	3	3	4	5	5	4	5	3	3	6	3	3
	Высота помещения, м	4	5	5	6	6	5	5	4	4	6	4	3
	Кратность аварийной вентиляции, ч <sup>-1</sup>	6	6	8	8	10	10	8	6	6	12	6	6
	Длина трубопровода, м	5	4	5	7	5	5	5	7	5	7	5	5
	Количество насосов, шт.	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
	Наличие АУП	Нет	Есть	Нет	Есть	Нет	Есть	Нет	Есть	Нет	Есть	Нет	Есть
	Площадь остекления, м <sup>2</sup>	8	10	12	15	16	12	10	10	8	15	10	14

**Примечания:**

1. Район расположения: 00 – Уфа, 01 – Архангельск, 02 – Санкт-Петербург, 03 – Москва, 04 – Владивосток, 05 – Псков, 06 – Тюмень, 07 – Казань, 08 – Иркутск, 09 – Воронеж, 10 – Барнаул, 11 – Улан-удэ;

2. Химический продукт: вариант 00 – бутилацетат, 01 – бутилметилкетон, 02 – пропиловый спирт, 03 – этиловый спирт, 04 – изобутилметилкетон, 05 – растворитель РМЛ, 06 – изобутилформиат, 07 – изопропилацетат, 08 – изопропиловый спирт, 09 – бензин АИ-92, 10 – изоктан, 11 – ксилол (смесь изомеров);

3. В качестве расчетной температуры воздуха в помещении принять максимально возможную температуру воздуха наиболее теплого месяца

Таблица 3

Поз. на рис. 2,3	Исходные данные	Данные для вариантов											
		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
		Резервуар РВС с химическим продуктом											
7	Номинальный объем РВС, м <sup>3</sup>	300	100	200	300	400	300	200	100	700	400	200	100
	Степень заполнения РВС	0,95	0,85	0,90	0,85	0,95	0,95	0,95	0,90	0,90	0,90	0,90	0,95
	Отключение коренных задвижек	мест	дист	мест	дист	мест	дист	мест	дист	мест	дист	мест	дист
	Количество дыхательных клапанов, шт.	1	1	1	2	2	1	2	1	1	1	2	1
	Пропускная способность дыхательного клапана, м <sup>3</sup> /ч	50	25	25	100	100	100	25	25	20	100	25	25
	Количество предохранитель- ных клапанов, шт.	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	1
	Пропускная спо- собность пред. клапана, м <sup>3</sup> /ч	10	15	15	50	50	50	25	15	10	50	50	15

Поз. на рис. 2,3	Исходные данные	Данные для вариантов											
		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
		Насос центробежный для перекачки химического продукта											
5	Производительность, м <sup>3</sup> /ч	35	40	80	120	150	140	90	40	35	160	70	40
	Напор, м	20	20	30	40	40	30	20	20	20	40	20	20
	Отключение	авт.	авт.	авт.	авт.	авт.	авт.	авт.	авт.	авт.	авт.	авт.	авт.
	Диаметр всасывающей линии, мм	90	100	115	120	125	110	120	100	90	120	120	100
	Диаметр нагнетательной линии, мм	65	75	65	80	80	65	65	75	65	100	65	60
	Наличие обратного клапана на нагнетательной линии насоса	Нет	Да	Нет	Да	Нет	Да	Нет	Да	Нет	Да	Нет	Да
	Вид уплотнения вала	СУ	СУ	СУ	СУ	СУ	СУ	СУ	СУ	СУ	СУ	СУ	СУ
	Диаметр вала насоса, мм	30	35	40	30	35	40	30	45	30	45	35	30

Поз. на рис. 2,3	Исходные данные	Данные для вариантов											
		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
		Помещение насосной станции для перекачки химического продукта											
2	Длина помещения, м	6	6	6	8	6	6	6	8	6	8	6	6
	Ширина помещения	3	3	4	5	5	4	5	3	3	6	3	3
	Высота помещения, м	4	5	5	6	6	5	5	4	4	6	4	3
	Кратность аварийной вентиляции, ч <sup>-1</sup>	6	6	8	8	10	10	8	6	6	12	6	6
	Длина трубопровода, м	5	4	5	7	5	5	5	7	5	7	5	5
	Количество насосов, шт.	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
	Наличие АУП	нет	есть	нет	есть	нет	есть	нет	есть	нет	есть	нет	есть
	Площадь остекления, м <sup>2</sup>	8	12	14	10	14	12	10	10	8	15	10	14

**Примечания:**

1. Район расположения: 12 – Челябинск, 13 – Саратов, 14 – Оренбург, 15 – Пенза, 16 – Махачкала, 17 – Новосибирск, 18 – Калининград, 19 – Элиста, 20 – Кострома, 21 – Кемерово, 22 – Киров, 23 – Красноярск.
2. Химический продукт: вариант 12 – метиловый спирт, 13 – аллиловый спирт, 14 – этилбензол, 15 – этилбутират, 16 – толуол, 17 – метанол, 18 – метилбутират, 19 – октан, 20 – изобутиловый спирт, 21 – этанол, 22 – изооктан, 23 – бензин АИ-92.
3. В качестве расчетной температуры воздуха в помещении принять максимально возможную температуру воздуха наиболее теплого месяца

## **4.2. Обеспечение пожарной безопасности склада светлых нефтепродуктов на территории предприятия в городе N (номера зачетных книжек от 24 до 33)**

Участок под строительство нефтесклада расположен в городе N. С северо–востока площадка примыкает к территории мебельной фабрики. Площадка относится к климатическому подрайону IA. Господствующее направление ветров – северо–западное и юго–восточное. Скоростной напор ветра равен  $50 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$ .

На генплане размещены:

- группа резервуаров из 34 железнодорожных цистерн для хранения топлива, суммарной вместимостью  $2000 \text{ м}^3$ , установленных на железобетонном основании в железобетонном поддоне с высотой стенки 1, 55 м;

- площадка для слива нефтепродуктов у железнодорожных цистерн;

- открытые продуктовые насосные станции;

- резервуарный парк;

- технологический трубопровод на эстакаде;

- площадка для налива топлива в автоцистерны с наливной эстакадой;

- помещение для оператора и помещение для хранения пожарного инвентаря.

Прием нефтепродуктов осуществляется на эстакаде, расположенной на подъездных путях. Одновременно подается две 60–тонных или одна 120–тонная цистерны. Слив производится только с одной цистерны.

Из железнодорожных цистерн нефтепродукты подаются на насосную станцию и далее по трубопроводам в резервуарный парк, состоящий из 34 резервуаров емкостью  $60 \text{ м}^3$  каждый.

Проектом предусматривается нижний самотечный (до насосной станции) слив нефтепродуктов через установку нижнего слива УСН–175, которая представляет собой шарнирный трубопровод диаметром 175 мм с пружинным уравнивающим устройством и присоединительной головкой с захватами, обеспечивающими герметичность к сливному люку цистерны.

Приемные емкости представляют собой железнодорожные цистерны, установленные на железобетонном основании. Перед установкой цистерны проходят пропарку на ВЧД–5. После установки цистерны проходят дефектологическое обследование и метрологический контроль для уточнения объема.

Подводящий трубопровод предусмотрен из труб диаметром 108х4 из стали, пригодной для районов строительства с расчетной температурой – 38 °С.

Резервуарный парк состоит из 34 резервуаров по 60 м<sup>3</sup> каждый и разбит на 4 группы по видам топлива: пять резервуаров – ДТ, пять – А–96, десять резервуаров – А–80 и четырнадцать – А–92 (рис. 4).

Нефтепродукты закачиваются в резервуары из ж/д цистерн по различным трубопроводам для каждого вида топлива через насосную слива, оборудованную двумя насосами типа НМ 45/18.

Резервуарный парк оборудован металлическими лестницами для подъема на резервуары, верхним трапом для обслуживания дыхательных клапанов и ручного контроля уровня нефтепродуктов в резервуарах и нижним трапом для управления запорной арматурой.

Резервуарный парк оборудован нижним трубопроводом для зачистки резервуаров.

Для загрузки нефтепродуктов в автоцистерны предусмотрена площадка налива. Одновременно на площадку могут подаваться 4 автоцистерны, налив производится только в одну. Площадка оборудована наливной эстакадой, на которой установлены 4 счетчика и 4 устройства налива для каждого вида топлива. Эстакада обеспечивает налив нефтепродуктов в автоцистерны различных типов высотой от 2 до 3 м. Загрузка ведется через горловину, при этом оператор следит за показанием уровня и счетчика и при необходимости отключает насос и закрывает задвижку.

Площадка забетонирована, имеет по периметру бортики высотой 200 мм и оборудована канализацией.

После краткого изложения сущности технологического процесса, студенты должны дать анализ пожарной опасности.

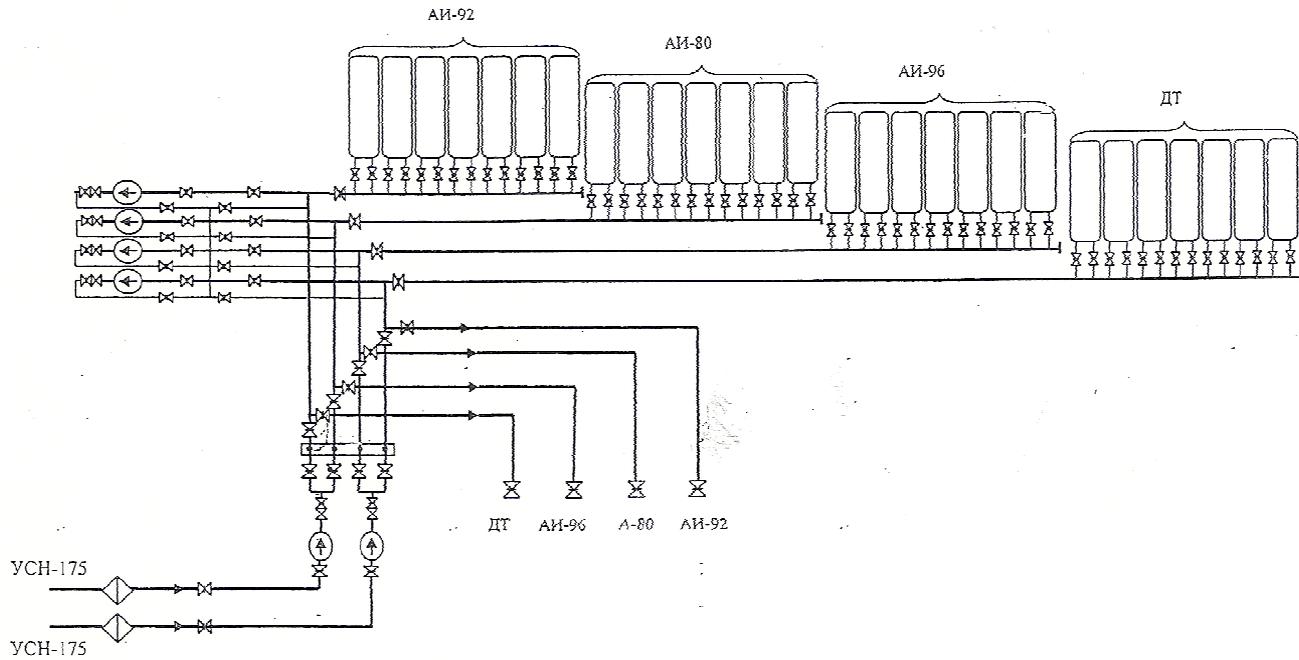


Рис. 4. Технологическая схема приема и отгрузки светлых нефтепродуктов

аппаратов, определить категорию резервуарного парка для хранения нефтепродуктов, категорию наружной установки по пожарной опасности и интенсивность теплового излучения для пожара пролива ЛВЖ. Необходимые данные для расчетов приведены в табл. 4.

### **4.3. Цех окраски изделий с краскоприготовительным отделением (номера зачетных книжек от 34 до 51)**

Окрасочный цех автомобилестроительного и тракторостроительного заводов предназначен для окраски и сушки металлических деталей машин. Перед окраской поверхность окрашиваемых деталей очищают от ржавчины и обезжиривают. Необходимое количество лакокрасочного материала готовится в краскоприготовительном отделении цеха путем разбавления полуфабриката соответствующим растворителем.

Для окраски автомобильных деталей используется лакокрасочный материал, представляющий собой раствор нитроклетчатки и глифталевой смолы в ацетоне, а для окраски тракторных деталей используется раствор синтетической полиэфирной смолы в бензоле. Технологические процессы приготовления готового состава красок, а также процессы подготовки деталей, их окраска и сушка одинаковы как на автомобильном, так и на тракторном заводах. Поэтому ниже приведена схема (рис.5) и дано описание технологического процесса, общего для цеха окраски автомобильных и тракторных деталей.

#### **4.3.1. Процесс приготовления краски**

В краскоприготовительном отделении цеха насосом 1 подается необходимое количество растворителя, которое отмеривается мерником 2 и сливается в лопастный аппарат-растворитель 3. Одновременно в аппарат-растворитель 3 из бункера 4 подается полуфабрикат краски, состоящий из 70% смолы и 30% растворителя

Таблица 4

Параметр	Данные для вариантов									
	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
Ширина бетонного обвалования, м	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Длина бетонного обвалования, м	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78
Расстояние до ближайшего объекта, м (деревянные конструкции)	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38
Температура окружающей среды, °С	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36
Степень заполнения резервуаров, ε	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95
Производительность насосов, л·мин <sup>-1</sup>	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
Отключение насосов	ручн	авт.	ручн.	авт.	авт.	авт.	ручн.	ручн.	авт.	ручн.
Высота размещения резервуаров, м	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9

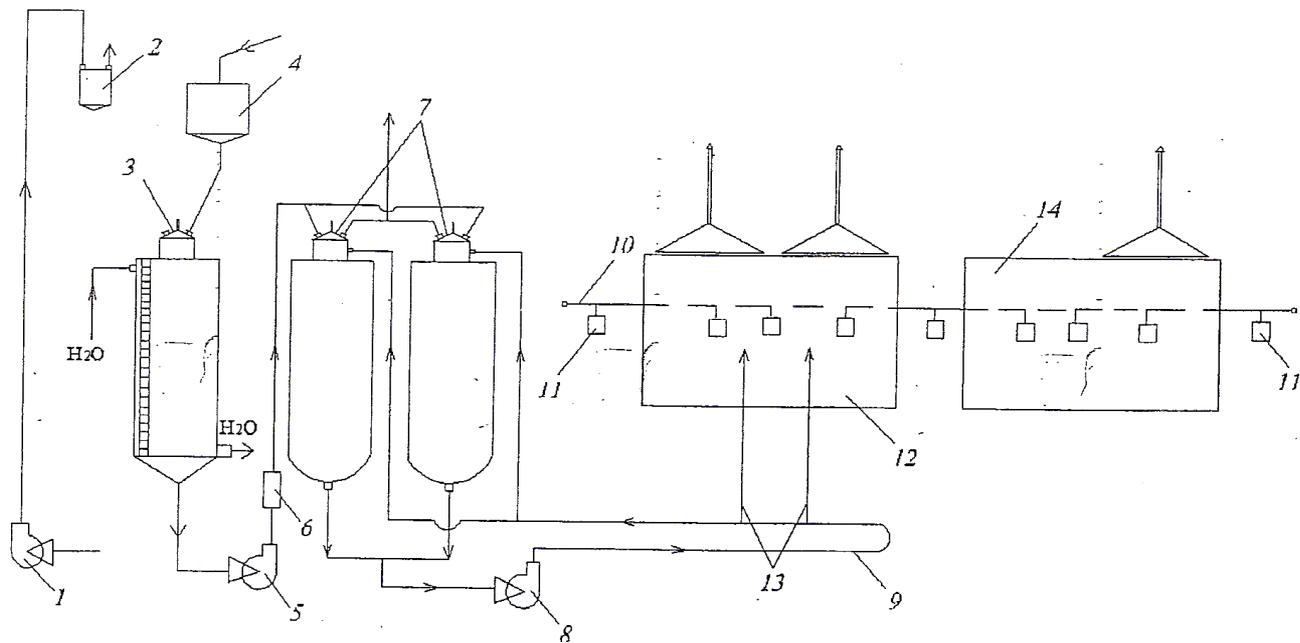


Рис. 5. Схема технологического процесса окраски деталей

В аппарате 3 при непрерывной работе мешалки и при подогреве его горячей водой (до температуры 40°C на автомобильном заводе и до 60°C на тракторном заводе) происходит растворение и разбавление полуфабриката до требуемого готового состава краски. В состав краски, потребной для цеха автомобильного и тракторного заводов, входит 20 % смолы и 80 % растворителя. Приготовленная краска из аппарата 3 забирается центробежным насосом 5, продавливается для очистки от твердых частичек через фильтр 6 и поступает в расходные емкости 7. Из емкостей 7 краска непрерывно циркулирует за счет насосов 8 по кольцевой линии 9 до окрасочной камеры 12 и обратно.

### **4.3.2. Процесс окраски и сушки деталей**

Подлежащие окраске металлические детали поступают из соседних цехов на площадку цеха окраски. Здесь детали навешивают на конвейер 10 и он доставляет их в камеру для механической и химической очистки от грязи и ржавчины и для обезжиривания. Химическая очистка осуществляется слабыми водными растворами фосфорной кислоты и ПАВ (поверхностно-активных веществ). После очистки и промывки деталей водой конвейер доставляет их для сушки в камеры (на схеме не показана). Очищенные и высушенные детали поступают в окрасочную камеру 12 через открытые проемы в торцовых стенах. Камера имеет два рабочих места для окраски изделий пульверизатором. К каждому пульверизатору по гибкому рукаву 13 подводится краска от циркуляционного кольца 9, а по отдельному рукаву – сжатый воздух. Производительность пульверизатора, диаметр краскоподводящего шланга приведены в табл. 5 и 6. Окрасочная камера имеет вытяжную вентиляцию. Отсасываемый воздух при выходе из камеры очищается от частичек краски, проходя через гидрофильтр.

Размеры окрасочной и сушильной камер, производительность распылителей и все другие данные приведены в табл. 5 и 6. Стены окрасочной камеры очищаются от осевшей краски медными скребками раз в неделю, пол – после каждой рабочей смены. После окраски детали поступают на сушку в сушильную

камеру 14. Сушильная камера терморadiационного типа с электро- и или газообогревательными закрытыми панелями. Максимальная температура обогреваемой поверхности панели в камере автомобильного завода 300 °С, в камере тракторного завода – 400 °С. Сушильная камера имеет вытяжную вентиляцию. Объем камеры и общая площадь одновременно высушиваемых деталей указаны в табл. 5.

При сушке окрашенной поверхности автомобильных деталей выделяются пары ацетона, при сушке тракторных деталей выделяются пары бензола. Высушенные детали конвейером подаются на разгрузочную площадку 14 и далее отвозятся тележками в сборочные цехи. Устройство и работа сушильной камеры описаны в гл. 15 учебника [7]. Размеры помещений цеха приведены в табл. 5 и 6.

Студенты, у которых номер зачетной книжки имеет 2 последние цифры от 34 до 42, после краткого изложения сущности технологического процесса окраски тракторных деталей должны дать анализ пожарной опасности аппаратов (данные указаны в табл. 5) и определить расчётным путем категорию взрывопожароопасности помещения мерников и растворителей и степень разрушения здания при взрыве. Данные о помещении мерников приведены в табл. 5.

Студенты, у которых номер зачетной книжки имеет 2 последние цифры от 43 до 51, после краткого изложения сущности технологического процесса окраски автомобильных деталей должны дать анализ пожарной опасности аппаратов (данные указаны в табл. 6), определить расчётным путем категорию взрывопожароопасности помещения цеха и степень разрушения здания при взрыве, где размещены окрасочные камеры. Данные о помещении окраски приведены в табл. 6.

Таблица 5

Поз на рис.5	Исходные данные	Данные для вариантов								
		34	35	36	37	38	39	40	41	42
<b>Насос подачи растворителя–бензола центробежный</b>										
1	Давление, МПа	0,4	0,3	0,35	0,2	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2
	Температура, °С	10	10	15	15	20	20	22	22	18
	Диаметр линии, мм	75	75	50	50	75	75	50	50	75
	Вид сальниковых уплотнений вала	СУ	ТУ	ТУ	ТУ	СУ	СУ	ТУ	СУ	ТУ
	Производительность, м³/мин	0,4	0,75	0,39	0,3	0,35	0,34	0,33	0,37	0,34
	Диаметр вала, мм	40	40	40	35	35	30	30	35	35
<b>Мерники растворителя–бензола (степень заполнения 0,9)</b>										
2	Диаметр, м	1	1	0,8	0,8	1	1	0,8	0,8	1
	Высота, м	1,2	1,2	1,4	1,4	1	1	1,6	1,6	1,8
	Температура жидкости, °С	10	10	15	15	20	20	22	22	18
	Давление, МПа	0,101	0,101	0,102	0,102	0,101	0,101	0,102	0,102	0,101
	Диаметр линии, мм	75	75	50	50	50	50	50	75	75
	Защита дыхательных линий	ОП*	ОП	ДК*	ДК	ОП	ОП	ДК	ДК	ОП
	Регулирование уровня	Авт.	Авт.	Руч.	Руч.	Руч.	Авт.	Авт.	нет	нет
	Аварийный слив	нет	нет	нет	нет	есть	есть	есть	нет	нет

Поз. на рис. 5	Исходные данные	Данные для вариантов								
		34	35	36	37	38	39	40	41	42
	<b>Сушильная камера радиационного типа (обогрев природным газом). Свободный объем 30%</b>									
14	Длина, м	10	8	10	12	14	16	14	12	10
	Ширина, м	4	4	4	4	6	6	6	4	4
	Высота, м	3	3	3	3	4	4	4	3	3
	Температура поверхности излучения, °С	300	350	350	325	320	315	300	320	340
	Производительность, м³/мин	750	800	800	700	700	800	750	750	700
	Количество испаряемого растворителя, г/м²	12	10	11	14	15	13	13	14	12
	Кратность вентиляции, 1/ч	2	2	3	3	2	2	3	2	2
Средства тушения	нет	пена	нет	пар	пар	нет	нет	СО <sub>2</sub>	СО <sub>2</sub>	
<b>Помещение мерников</b>										
	Ширина, м	16	20	18	22	26	28	16	22	32
	Длина, м	12	9	8	15	12	9	12	10	12
	Высота, м	5	5	5	6	6	6	6	7	7
	Кратность вентиляции, 1/ч	4	4	6	6	8	8	8	8	6
	Скорость воздуха, м/с	0,2	0,4	0,5	0,6	0,5	0,6	0,8	0,4	0,5
	Расстояние до задвижек, м	8	10	8	7	7	7	6	6	8
	Привод задвижек	руч.	руч.	авт.	авт.	руч.	руч.	авт.	авт.	руч.
	Средства тушения	пена	пена	пена	пена	фреон	фреон	СО <sub>2</sub>	СО <sub>2</sub>	СО <sub>2</sub>

**Примечание:** ОП\* – огнепреградитель; ДК\* – дыхательный клапан.

Таблица 6

Поз. на рис. 5	Исходные данные	Данные для вариантов							
		43	44	45	46	47	48	49	51
	<b>Смеситель–растворитель с мешалкой и водяным обогревом</b>								
3	Диаметр, м	1,5	1,4	1,3	1,2	1,3	1,4	1,5	1,4
	Высота, м	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,4	2,3	2,2
	Температура рабочая, °С	50	55	60	65	70	65	60	55
	Давление, МПа	0,11	0,11	0,12	0,13	0,14	0,12	0,11	0,12
	Защита дыхательной линии	ОП	ДК	ДК	ОП	ОП	ДК	ДК	ОП
	<b>Насос центробежный циркуляционный</b>								
8	Давление, МПа	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,6	0,6	0,7
	Температура, °С	50	55	60	65	70	65	60	55
	Диаметр линии, мм	75	75	50	50	50	50	50	75
	Вид сальниковых уплотнений	ТУ	ТУ	СУ	СУ	СУ	ТУ	ТУ	СУ
	Диаметр вала, мм	40	40	35	35	35	40	40	35
	Производительность, л/мин	60	80	75	75	80	80	60	70
	<b>Окрасочная камера пульверизационная на два рабочих места</b>								
17	Длина, м	5	6	7	8	6	7	5	8
	Ширина, м	3,5	3,5	4,5	3,5	4,5	4,0	3,0	3,5
	Высота, м	2,5	3,0	3,0	2,0	2,5	2,5	3,0	3,0
	Диаметр шланга, мм	16	18	18	20	16	20	20	18
	Давление краски, МПа	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,30	0,35	0,40
	Производительность распыления, л/мин	25	23	24	26	28	28	26	24
	Кратность вентиляции, 1/ч	20	15	20	25	30	22	24	28
	Улавливание краски	ВЗ	СФ	ВЗ	ВЗ	СФ	СФ	ВЗ	ВЗ

Поз. на рис. 5	Исходные данные	Данные для вариантов							
		43	44	45	46	47	48	49	51
	Длина, м	95	90	85	75	80	75	85	95
	Ширина, м	20	20	20	34	34	32	32	36
	Высота, м	12	10	12	10	14	12	14	12
	Скорость воздуха, м/с	0,2	0,3	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5
	Кратность вентиляции, 1/ч	2	2	4	4	2	2	4	4
	Расстояние до задвижек, м	6	6	8	8	5	5	5	8
	Привод задвижек	руч.	авт.	руч.	авт.	авт.	руч.	руч.	руч.
	Ограничение растекания краски,% от площади пола	нет	нет	нет	10	10	5	5	15

Примечание: ВЗ\* – водяная завеса; СФ\* – сухой фильтр.

#### **4.4. Установка для улавливания паров ЛВЖ из горючего газа методом абсорбции (номера зачетных книжек от 52 до 71)**

Из смеси паров и газов необходимое вещество можно выделить, используя метод абсорбции. Абсорбцией, как известно, называется процесс поглощения паров или газов из газовых или парогазовых смесей жидкими поглотителями – абсорбентами. При улавливании бензиновых углеводородов из природного газа в качестве абсорбента используется соляровое масло, а при улавливании паров этилена в качестве абсорбента используют воду.

Технологические схемы абсорбционных процессов улавливания бензиновых паров из природного газа и паров этилового спирта из этилена принципиально не отличается друг от друга. Поэтому ниже приведена схема и дано описание технологического процесса (рис.6) абсорбционной установки, общее для обоих случаев.

Поступающая на установку по линии 1 смесь пара и газа (в первом случае – природный газ с парами бензина, во втором случае – этилен с парами этилового спирта) с начальным давлением 6 ат подвергается охлаждению до температуры 10 °С в водяных кожухотрубчатых холодильниках 2. Предварительное сжатие и охлаждение начальной смеси обеспечивается в последующем более эффективным улавливанием паров из смеси газов. Из холодильника 2 смесь паров и газа поступает в два последовательно соединенных абсорбера 3. Абсорберы представляют собой вертикальные цилиндрические аппараты, внутренний объем которых заполнен насадкой в виде керамических колец. Устройство и работа абсорберов изложены в гл.14.1 [7].

В верхнюю часть последнего по ходу газа абсорбента насосом 12 подается регенерированный и охлажденный в холодильнике 14 поглотитель – абсорбент (в первом случае соляровое масло, во втором – вода). Абсорбент, проходя абсорберы навстречу движения газа, поглощает из него пары бензина или спирта и в виде насыщенного раствора поступает в сборник 16.

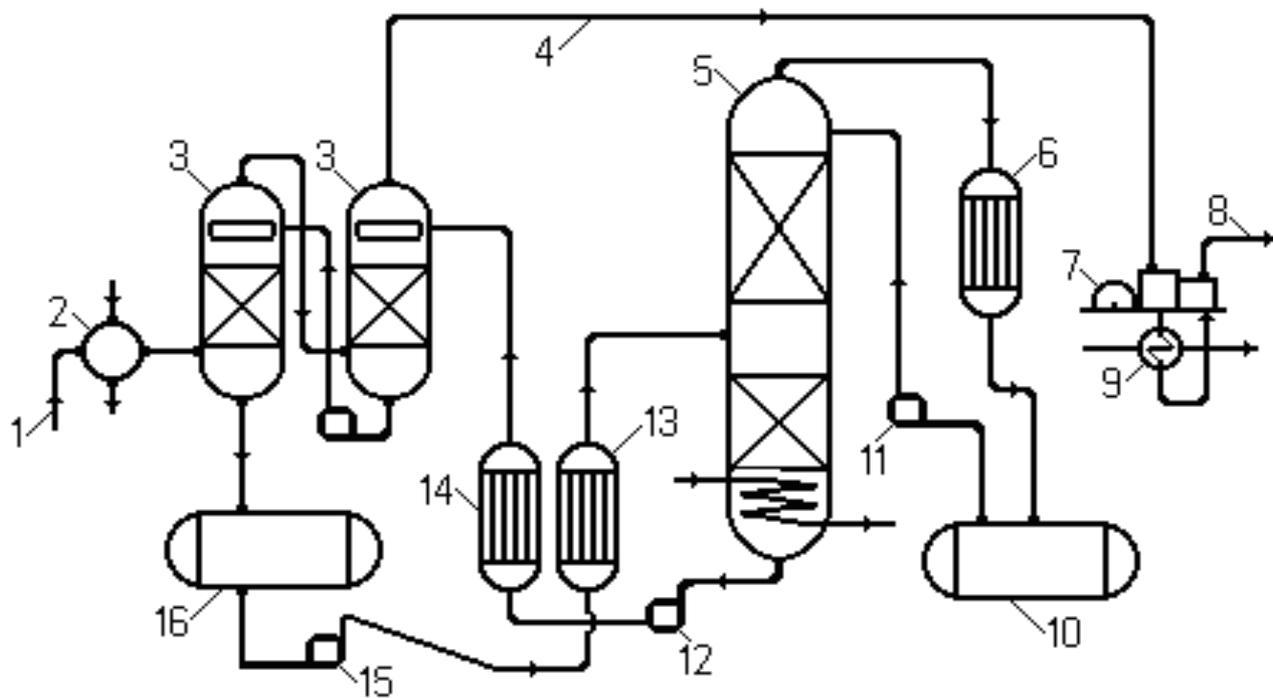


Рис. 6. Принципиальная технологическая схема процесса улавливания паров ЛВЖ методом абсорбции

Очищенный от пара газ (природный или этилен) выходит из последнего абсорбера по линии 4 и поступает в компрессор 7, сжимается до давления, необходимого для дальнейшей его переработки. Сжатый газ по линии 8 отводится из компрессорной станции.

Насыщенный абсорбент из емкости 16 насосом 15 подается на разделение (десорбцию) в ректификационную колонну 5. Перед поступлением на десорбцию абсорбент подогревается до температуры кипения в подогревателе 13. Ректификационная колонна 5 имеет колпачковые тарелки. Рабочее давление в колонне приведено в табл. 7. Температура в верхней части колонны равна температуре кипения улавливаемой жидкости (бензина, этилового спирта), температура в нижней части колонны равна температуре кипения применяемого абсорбента (соляровое масло, вода). Нижняя часть колонны имеет подогреватели. Устройство и работа ректификационной колонны описаны в гл. 13 [7].

Теплоносителем подогревателей ректификационной колонны 5 и подогревателя насыщенного абсорбента 13 является водяной пар.

В ректификационной колонне 5 из абсорбента отгоняются поглощенные им из начальной смеси пары (бензина, этилового спирта). Отогранный из абсорбента пар выходит из верхней части колонны и поступает на конденсацию и охлаждение в конденсатор – холодильник 6. Полученный конденсат (бензин, этиловый спирт) с температурой 20 °С поступает в емкость ректификата 10. Из емкости 10 часть жидкости насосом 11 подается в качестве флегмы на орошение ректификационной колонны 5, остальная часть отводится на склад в емкости готовой продукции.

Все остальные аппараты технологической схемы размещены на открытой площадке. Колонные аппараты (абсорберы, ректификационные колонны) и непосредственно связанные с ними аппараты расположены на трехэтажной металлической этажерке, имеющей две двухмаршевые лестницы. Холодильники, подогреватели и промежуточные ёмкости расположены на отдельных площадках. Площадки имеют по периметру бортики высотой 15 см для защиты от растекания излившейся жидкости.

Насосы и компрессоры размещены в изолированных отсеках здания первой степени огнестойкости. Технологические параметры аппаратов приведены в табл.7, 8.

Студенты, у которых номер зачетной книжки имеет две последние цифры от 52 до 61, после краткого изложения сущности технологического процесса поглощения паров бензина из природного газа должны дать анализ пожарной опасности аппаратов (табл. 7), определить расчетным путем категорию взрывопожароопасности компрессорной станции для сжатия природного газа и категорию взрывоопасности технологического блока.

Студенты, у которых номер зачетной книжки имеет 2 последние цифры от 62 до 71, после краткого изложения сущности технологического процесса улавливания паров этилового спирта из этилена должны дать анализ пожарной опасности аппаратов (табл.8), определить расчетным путем категорию взрывопожароопасности помещения компрессорной станции для сжатия этилена и относительный энергетический потенциал взрывоопасности компрессорной установки.

Таблица 7

Поз. на рис. 6	Исходные данные	Данные для вариантов									
		52	53	54	55	56	57	58	59	60	61
3	<b>Абсорбер для улавливания бензина из природного газа</b>										
	Давление, МПа	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
	Температура, °С	12	12	12	12	10	10	10	20	20	20
	Насадка	Кольца металлические									
	Диаметр, м	2	2	2	2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	Высота, м	20	20	25	25	30	30	32	32	34	34
	Средства тушения	есть	нет	есть	нет	нет	есть	есть	нет	нет	есть
Предохранительный клапан	нет	есть	нет	есть	нет	есть	нет	есть	нет	есть	
16	<b>Емкость для насыщенного абсорбента (соляровое масло с бензином)</b>										
	Объем, м <sup>3</sup>	11	12	13	14	15	16	18	20	22	25
	Степень заполнения	0,9	0,9	0,9	0,95	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8
	Давление, МПа	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
	Температура, °С	10	10	10	10	15	15	15	20	20	20
	Измерение и регулирование уровня	изм	изм	рег	рег	изм	изм	рег	рег	рег	рег
	Защита от давления	нет	нет	есть	есть	нет	есть	нет	нет	есть	есть
Аварийный слив	нет	нет	нет	нет	нет	есть	есть	есть	нет	есть	

Поз. на рис. 6	Исходные данные	Данные для вариантов									
		52	53	54	55	56	57	58	59	60	61
16	<b>Компрессор для сжатия природного газа</b>										
	Давление газа, МПа	1,6	1,8	2,0	1,6	1,8	2,0	1,6	1,8	2,0	2,2
	Температура газа, °С	40	45	40	55	60	40	45	50	55	60
	Производительность, м <sup>3</sup> /мин	10	12	14	16	18	12	13	14	15	16
	Диаметр линии, мм	100	100	120	120	150	150	180	180	180	180
	Расстояние до задвижки, м	6	6	6	8	8	8	8	10	10	10
	Система отключения задвижек	Авт.	Руч	Авт.	Руч	Авт.	Руч	Авт.	Руч	Авт.	Руч
	Диаметр вала, мм	40	45	50	40	40	45	40	45	50	50
	<b>Компрессорная станция природного газа</b>										
	Ширина помещения, м	12	12	10	10	15	15	12	12	10	15
	Длина помещения, м	24	18	18	18	24	24	30	30	30	30
	Высота помещения, м	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12
	Кратность вентиляции	8	6	8	6	8	8	10	10	10	10
	Скорость воздуха, м/с	0,8	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,8	0,7	0,6	0,5

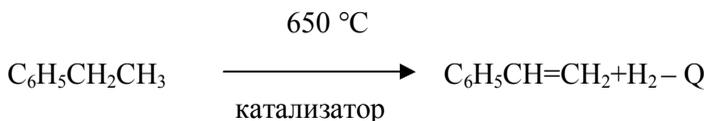
Таблица 8

Поз. на рис 5	Исходные данные	Данные для вариантов									
		62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
5	<b>Десорбер (ректификационная колонна) для отгонки спирта</b>										
	Давление, МПа	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,2
	Температура, °С	110	110	110	110	115	115	115	120	120	120
	Диаметр, м	2	2	2	2	2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	Высота, м	24	25	26	27	28	29	30	31	32	34
	Паровой объем,%	80	80	80	70	70	70	80	80	80	80
	Защита от давления	нет	нет	есть	есть	есть	нет	нет	есть	нет	нет
	Средства тушения	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
10	<b>Приемник спирта</b>										
	Объем, м <sup>3</sup>	10	12	14	16	20	22	25	25	25	25
	Степень заполнения	0,95	0,95	0,95	0,95	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8
	Давление, МПа	0,105	0,105	0,11	0,11	0,11	0,105	0,105	0,105	0,12	0,12
	Температура, °С	20	20	20	20	20	22	22	25	25	25
	Измерение и регулирование уровня	Изм.	Изм.	Изм.	Изм.	Рег.	Рег.	Изм.	Изм.	Рег.	Рег.
	Защита от давления	есть	нет	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть
Аварийный слив	нет	нет	нет	нет	нет	нет	есть	есть	есть	есть	
7	<b>Компрессоры для сжатия этилена</b>										
	Давление газа, МПа	2,4	2,4	2,6	2,6	2,8	2,8	3	3	3,2	3,2
	Температура, °С	40	45	45	45	40	40	45	45	40	40
	Производительность, м <sup>3</sup> /мин	100	60	70	75	80	60	70	75	80	90

	Исходные данные	Данные для вариантов									
		62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	Диаметр линии, мм	75	75	75	100	75	75	75	100	100	100
	Отключение задвижек	Руч.	Руч.	Авт.	Авт.	Руч.	Руч.	Авт.	Авт.	Руч.	Авт.
	Расстояние до задвижек	6	8	10	12	15	15	20	20	20	15
	<b>Компрессорная станция природного газа</b>										
	Ширина помещения, м	18	18	20	18	20	18	18	18	19	20
	Длина помещения, м	24	24	24	30	30	30	30	36	36	36
	Высота помещения, м	10	12	8	10	8	12	10	8	12	10
	Кратность вентиляции, 1/ч	6	8	6	8	8	10	8	8	10	8
	Скорость воздуха, м/с	0,4	0,6	0,5	0,7	0,8	1,0	0,6	0,4	0,8	0,6

#### 4.5. Производство стирола из этилбензола (номера зачетных книжек от 72 до 99) [14]

Стирол является сырьем для производства большого количества пластмассовых изделий и синтетического каучука. Стирол представляет собой ароматический углеводород ( $C_6H_5CH=CH_2$ ), наличие двойной связи с молекуле которого определяет его способность к полимеризации. Получают стирол чаще всего путем дегидрирования этилбензола (при температуре  $650\text{ }^\circ\text{C}$ ) в присутствии катализатора в виде окислов некоторых металлов. Реакция дегидрирования имеет следующий вид:



Данная реакция эндотермическая. Технологическая схема производства стирола из этилбензола представлена на рис.7.

Чтобы жидкий стирол подвергнуть воздействию высокой температуры, его следует подготовить, т. е. испарить, и пары перегреть. Поэтому из резервуара 1 насосом 2 его подают в испаритель 3 для подогрева до температуры  $136\text{ }^\circ\text{C}$  и испарения, а затем в трубчатый перегреватель 4, где за счет теплоты топочных продуктов реактора его пары перегреваются до температуры  $250\text{--}300\text{ }^\circ\text{C}$

При такой температуре пары этилбензола поступают в реактор 5. Проходя по трубкам реактора, которые заполнены катализаторной массой и с наружной стороны обогреваются продуктами горения природного газа, пары этилбензола нагреваются до температуры реакции  $650\text{ }^\circ\text{C}$  и расщепляются с образованием паров стирола, водорода и тяжелых смол.

Образовавшиеся продукты реакции необходимо охладить, отделить стирол от смол, водорода и окончательно его очистить. Поэтому смесь паров и газа из реактора поступает в систему холодильников–конденсаторов 6, где за счет воды и холодильного рассола происходит охлаждение смеси и конденсация паров. Водород и другие газообразные продукты разложе-

ния отделяются от жидкости в сепараторе и вакуум–насосом 7 отводятся на последующую утилизацию. Жидкий стирол с примесями (стирол–сырец) поступает в промежуточную емкость 8. Очистка стирола–сырца осуществляется путем ректификации. Сначала следует снизить температурный режим перегонки, чтобы избежать нежелательного интенсивного химического процесса полимеризации. Снижение температурного режима процесса ректификации осуществляется созданием в ректификационной колонне глубокого вакуума.

Стирол–сырец из емкости 8 подают насосом через нагреватель 9 в ректификационную колонну, которая работает при давлении в верхней части 4 кПа (вакуум 730 мм рт. ст.), в нижней – 8 кПа (вакуум 700 мм рт. ст.) и при температуре (соответственно) 45 и 100 °С. Выходящие из колонны пары стирола охлаждаются в конденсаторе–холодильнике 11. Часть жидкого стирола из сепаратора 12 подается в колонну на орошение, а остальная часть поступает в емкость готовой продукции 14. Вакуум в колонне создается вакуум–компрессором 13 за счет интенсивной конденсации паров в холодильнике–конденсаторе, а также отсоса газообразных продуктов и несконденсировавшихся паров из сепаратора 12.

Находящиеся в стироле примеси–смолы из нижней части ректификационной колонны отводятся на охлаждение и дальнейшее использование. Для снижения способности стирола к полимеризации (как в процессе ректификации, так и при дальнейшем хранении и транспортировке) к стиролу–сырцу (перед перегонкой по линии 17) добавляют небольшое количество ингибитора (обычно гидрохинон).

Студенты, у которых номер зачетной книжки имеет две последние цифры от 72 до 81 после краткого изложения сущности технологического процесса производства стирола из этилбензола, должны дать анализ пожарной опасности аппаратов (табл. 9), определить расчетным путем категорию взрывопожарной опасности помещения насосной станции сырьевых насосов, проверить соответствие приведенной площади остекления нормативным или расчетным значениям.

Студенты, у которых номер зачетной книжки имеет две последние цифры от 82 до 90, после краткого изложения сущности технологического процесса производства стирола из этилбензола, должны дать анализ пожарной опасности аппаратов (табл. 10), определить расчетным путем категорию взрывопожарной опасности помещения насосной станции насосов стирола–ректификата, условную вероятность разрушения здания и поражения людей.

Студенты, у которых номер зачетной книжки имеет две последние цифры от 91 до 99, после краткого изложения сущности технологического процесса производства стирола из этилбензола, должны дать анализ пожарной опасности аппаратов (табл. 11), определить расчетным путем категорию взрывопожарной опасности помещения компрессорной станции для удаления водорода и относительный энергетический потенциал взрывоопасности.

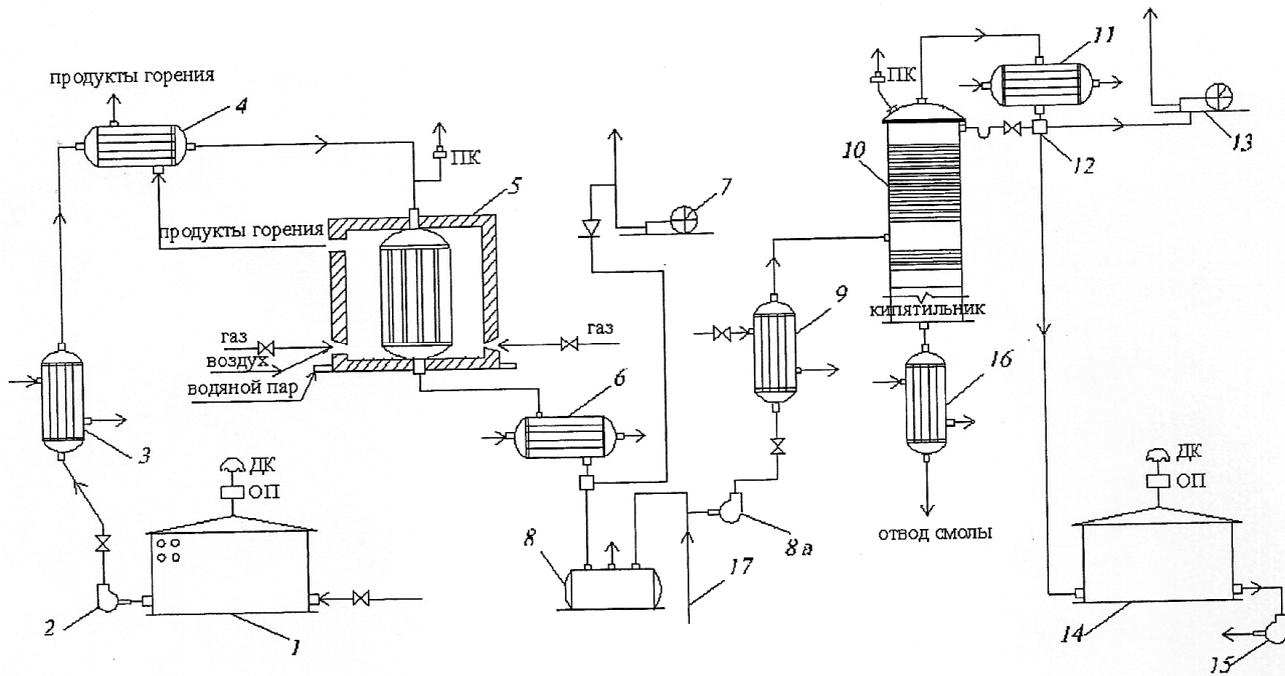


Рис. 7. Технологическая схема производства стирола из этилбензола

Таблица 9

Поз. на рис. 6	Исходные данные	Данные для вариантов									
		72	73	74	75	76	77	78	79	80	81
1	<b>Резервуар с этилбензолом</b>										
	Объем, м <sup>3</sup>	400	500	600	700	800	700	600	600	500	400
	Степень заполнения	0,95	0,95	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,95	0,95
	Температура рабочая, °С	20	25	30	30	25	20	20	25	30	25
	Давление рабочее, МПа	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101
	Молекулярная масса этилбензола	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106
	Температура кипения, °С	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136
	<b>Насосы сырьевые центробежные для подачи этилбензола</b>										
	Давление рабочее, МПа	0,15	0,2	0,25	0,3	0,25	0,15	0,2	0,25	0,3	0,3
	Рабочая температура, °С	20	25	30	30	25	20	20	25	30	25
	Диаметр всасывающей линии, мм	100	115	120	125	130	90	110	120	120	120

Поз. на рис. 6	Исходные данные	Данные для вариантов									
		72	73	74	75	76	77	78	79	80	81
	<b>Насосы сырьевые центробежные для подачи этилбензола</b>										
	Диаметр нагнетательной линии, мм	50	55	60	65	70	50	55	60	65	70
	Вид уплотнения вала	ТУ	ТУ	СУ	СУ	ТУ	ТУ	СУ	СУ	ТУ	ТУ
	Диаметр вала, мм	30	35	40	30	35	40	30	35	40	30
	Производительность, л/с	5	10	20	25	30	5	10	20	25	30
	<b>Реактор огневого действия</b>										
Диаметр трубок, мм	37	40	45	50	37	40	45	55	37	47	
5	Длина трубок, м	3	3,5	4	3	3,5	4	3	3,5	4	3
	Рабочее давление, МПа	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
	Рабочая температура реактора, °С	600	610	620	630	600	610	620	630	600	630
	Температура в топочном пространстве, °С	900	910	920	900	930	940	900	900	910	920
	Топливо	газ	газ	жидк	жидк.	газ	газ	жидк.	жидк.	газ	газ
	Стационарная система тушения	нет	нет	пар	пар	нет	пар	нет	пар	нет	пар

Поз. на рис. 6	Исходные данные	Данные для вариантов										
		72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	
2	<b>Насосная станция сырьевых насосов для подачи этилбензола</b>											
	Ширина помещения, м	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Длина помещения, м	10	9	8	8	7	10	10	8	8	7	7
	Высота помещения, м	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5
	Кратность воздухообмена аварийной вентиляции, 1/ч	4	5	6	8	5	5	6	5	7	4	4
	Длина линий до задвижек, м	6	8	7	7	5	9	9	7	7	6	6
	Скорость воздуха в помещении, м/с	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4
	Отключение задвижек	ручн	ручн	ручн	ручн	авт	авт	авт	авт	ручн	ручн	ручн
	Средства тушения	пена	пена	пена	пар	пар	пар	пена	пена	пена	пена	пена
	Количество насосов, шт.	2	3	4	3	3	3	4	2	3	3	3
Площадь остекления, м <sup>2</sup>	15	16	18	20	14	12	20	26	24	22	22	

Таблица 10

Поз. на рис. 6	Исходные данные	Данные для вариантов								
		82	83	84	85	86	87	88	89	90
14	<b>Резервуар стирола-ректификата</b>									
	Объем, м <sup>3</sup>	800	1000	1200	1300	1400	1200	1100	1200	1000
	Степень заполнения	0,95	0,95	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,95
	Температура рабочая, °С	30	35	30	30	35	30	30	35	30
	Давление рабочее, МПа	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Молекулярная масса стирола	104	110	105	108	107	106	103	104	110
	Температура кипения, °С	142	142	142	142	142	142	142	142	142
15	<b>Насос для откачки стирола-ректификата</b>									
	Давление рабочее, МПа	0,2	0,15	0,2	0,15	0,2	0,15	0,2	0,25	0,15
	Рабочая температура, °С	30	35	30	30	35	30	30	35	30
	Диаметр всасывающей линии, мм	100	110	115	120	100	110	110	115	100
	Диаметр нагнетательной линии, мм	75	75	65	65	75	75	75	65	75
	Вид уплотнения вала	ТУ	ТУ	СУ	СУ	ТУ	ТУ	СУ	СУ	ТУ

Продолжение табл. 10

Поз. на рис. 6	Исходные данные	Данные для вариантов								
		82	83	84	85	86	87	88	89	90
15	<b>Насос для откачки стирола–ректификата</b>									
	Диаметр вала, мм	35	35	35	30	35	35	35	30	30
	Производительность насосов, л/с	20	25	30	35	40	25	25	30	20
	<b>Насосная станция насосов стирола–ректификата</b>									
	Ширина помещения, м	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Длина помещения, м	7	8	8	8	7	7	8	8	8
	Высота помещения, м	5	5	5	4	4	5	5	5	5
15	Кратность воздухообмена аварийной вентиляции, 1/ч	4	5	6	8	5	5	6	5	7
	Длина линии до задвижен, м	6	7	7	7	5	6	9	7	7
	Скорость воздуха в помещении, м/с	0,2	0,3	0,4	0,5	0,3	0,3	0,5	0,4	0,4

Поз. на рис. 6	Исходные данные	Данные для вариантов								
		82	83	84	85	86	87	88	89	90
14	<b>Насосная станция насосов стирола–ректификата</b>									
	Отключе-ние за-движек	руч.	руч.	руч.	руч.	авт.	авт.	авт.	авт.	руч.
	Средства тушения	пена	пена	пена	пар	пар	пар	пена	пена	пена
	Кол-во насосов, шт.	2	3	4	3	3	3	4	2	3
	Площадь остекления, м <sup>2</sup>	10	12	15	18	12	10	15	18	20

Таблица 11

Поз. на рис. 6	Исходные данные	Данные для вариантов								
		91	92	93	94	95	96	97	98	99
6	<b>Кожухотрубчатый холодильник–конденсатор</b>									
	Диаметр, м	1,1	1,2	,1	1,1	1,3	1,3	1,0	1,0	1,2
	Длина, м	3,0	3,2	3,2	3,2	3,5	3,5	3,4	3,4	3,2
	Диаметр трубок, мм	25	30	35	40	25	30	35	40	25
	Длина трубок, м	2,7	2,8	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,8
	Давление в межтрубном пространстве, МПа	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5	0,30	0,4
	Давление в трубках, МПа	0,2	0,25	0,3	0,2	0,25	0,3	0,2	0,25	0,3
	Температура, °С	10	10	10	10	10	15	15	15	15
	Хладагент	рассол	рассол	рассол	рассол	рассол	вода	вода	вода	вода
	Температурный компенсатор	нет	нет	есть	есть	нет	нет	нет	нет	есть
7	<b>Вакуум-компрессоры для удаления водорода</b>									
	Давление газа на стороне нагнетания, МПа	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,15	0,16	0,17
	Давление газа на стороне всасывания, МПа	3,0	3,5	3,8	4,0	4,0	4,0	3,0	3,5	4,0

Поз. на рис. 6	Исходные данные	Данные для вариантов								
		91	92	93	94	95	96	97	98	99
7	<b>Вакуум-компрессоры для удаления водорода</b>									
	Температура, °С	30	30	35	35	30	35	30	30	35
	Производительность насосов, л/с	75	80	70	75	80	60	70	75	80
	Диаметр линий, мм	50	65	70	50	70	65	70	50	50
	Отключение задвижек	руч.	руч.	авт.	авт.	руч.	руч.	авт.	авт.	руч.
Расстояние до задвижек	6	8	10	12	15	15	20	20	20	
7	<b>Компрессорная станция для удаления водорода</b>									
	Ширина помещения, м	8	8	10	6	8	6	6	6	8
	Длина помещения, м	12	12	12	12	12	12	12	14	14
	Высота помещения, м	6	6	8	6	8	6	6	8	6
	Кратность аварийной вентиляции, 1/ч	6	8	6	8	8	10	8	8	10
	Скорость воздуха в помещении, м/с	0,4	0,6	0,5	0,7	0,8	1,0	0,6	0,4	0,8
	Количество компрессоров, шт.	2	2	2	2	3	2	2	2	3
Площадь остекления, м <sup>2</sup>	10	12	15	18	12	10	15	18	20	

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 12.3.047–98 ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. – М.: Госстандарт России. 1998.
2. Федеральный закон РФ от 22 июля 2008 г. № 123–ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
3. ГОСТ 12.1.044–89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – М.: Изд-во стандартов.
4. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Спр. изд.: в 2 кн./ Под редакцией А.Н. Баратова, А.Я. Корольченко, – М.: Химия, 1980.
5. Корольченко, А.Я. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник в 2 ч. / А.Я. Корольченко, Д.А. Корольченко. – 2–е изд., перераб. и доп. – М.: Ас. Пожнаука. 2004.
6. Расчет основных показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов. Руководство / Щебеко Ю.Н., Навценя В.Ю., Копылов С.Н. и др. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2002.
7. Алексеев, М.В. Пожарная профилактика технологических процессов производств / О.И. Волков, Н.Ф. Шатров – М.: ВИ ПТШ МВД СССР, 1986.
8. Пожарная безопасность технологических процессов: учебник / С.А. Швырков и др.; под общ. ред. С.А. Швыркова. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012.
9. РМ 62–91–90. Методика расчета вредных выбросов в атмосферу из нефтехимического оборудования. – Воронеж, 1990.
10. ПБ 03–576–03. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. – СПб.: Изд-во ДЕАН, 2003.
11. ГОСТ 12.2.085–2002. Межгосударственный стандарт. Сосуды, работающие под давлением. Клапаны предохранительные. Требования безопасности. – Введ. Постановлением Госстандарта РФ от 19.09.2002. № 3335–ст.
12. СП 12.13130–2009 (с изменениями). Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрыво-

пожарной и пожарной опасности. – Введ. 2009–11–19. ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2008.

13. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (приказ МЧС от 10.07.2009г. № 404, зарегистрирована в Минюсте от 17.08.2009 г. № 14541).

14. Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Пожарная безопасность технологических процессов / В.С. Клубань, Л.Т. Панасевич, В.В. Воробьев, С.А. Горячев– М.: Академия ГПС МЧС России, 2011.

15. СП 131.13330.012. Строительная климатология. – М.: Минрегион России, 2012.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1**

**ОБРАЗЕЦ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФГБОУ ВО КЕМЕРОВСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
(УНИВЕРСИТЕТ)**

**Кафедра безопасности жизнедеятельности**

**КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**  
**по дисциплине «Пожарная безопасность**  
**технологических процессов»**

Тема: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Исполнитель \_\_\_\_\_  
(факультет, курс, группа)

\_\_\_\_\_  
(фамилия, инициалы)

Вариант задания \_\_\_\_\_

Руководитель  
преподаватель кафедры

\_\_\_\_\_  
(должность, фамилия, инициалы)

Кемерово 20\_\_\_\_\_

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. Задание на курсовой проект .....	4
2. Предоставляемый материал.....	4
3. Методические рекомендации .....	5
3.1. Описание технологического процесса .....	5
3.2. Оценка пожаровзрывоопасных свойств веществ, образующихся в производстве .....	5
3.3. Оценка условий пожароопасности внутри аппаратов при их нормальной работе .....	6
3.4. Пожаровзрывобезопасность аппаратов, при эксплуатации которых возможен выход горючих веществ наружу без повреждения их конструкции .....	16
3.5. Анализ причин повреждения аппаратов и трубопроводов, разработка необходимых средств защиты .....	22
3.6. Анализ возможности появления характерных технологических источников зажигания .....	32
3.7. Возможные пути распространения пожара .....	35
3.8. Расчет категории производственного помещения по взрывопожарной и пожарной опасности .....	38
3.9. Определение категории наружной установки .....	40
3.10. Разработка пожарно-технической карты .....	40
4. Технологические процессы для курсового проектирования.....	43
4.1. Хранение ЛВЖ в резервуарном парке предприятия (номера зачетных книжек от 00 до 23).....	43
4.2. Обеспечение пожарной безопасности склада светлых нефтепродуктов на территории предприятия в городе N (номера зачетных книжек от 24 до 33) .....	52
4.3. Цех окраски изделий с краскоприготовительным отделением (номера зачетных книжек от 34 до 51).....	55
4.4. Установка для улавливания паров ЛВЖ из горючего газа методом абсорбции (номера зачетных книжек от 52 до 71) .....	64
4.5. Производство стирола из этилбензола (номера зачетных книжек от 72 до 99) .....	72
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	84
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Образец титульного листа.....	86

# УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Методические указания  
к выполнению курсового проекта по дисциплине  
«Пожарная безопасность технологических процессов»  
студентами специальности  
20.05.01 «Пожарная безопасность»  
всех форм обучения

*Составители:*

**Иванов Юрий Иосифович**  
**Бесперстов Дмитрий Александрович**

Редактор *А.В. Дюмина*  
Технический редактор *Е.П. Лопатин*  
Художественный редактор *Е.П. Лопатин*

ЛР № 020524 от 02.06.97  
Подписано в печать 08.008.15. Формат 60×84<sup>1/16</sup>  
Бумага типографская. Гарнитура Times New Roman  
Уч.-изд. л. 7,5. Тираж 100 экз.  
Заказ № 42

Оригинал-макет изготовлен в лаборатории множительной техники  
Кемеровского технологического института пищевой  
промышленности (университета)  
650002, г. Кемерово, ул. Институтская, 7

ПЛД № 44-09 от 10.10.99  
Отпечатано в лаборатории множительной техники Кемеровского  
технологического института пищевой промышленности (университета)  
650002, г. Кемерово, ул. Институтская, 7