

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

**Академия Государственной противопожарной службы**

**ОСНОВЫ  
ТЕХНОЛОГИИ, ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ  
ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

**Учебное пособие**

**Москва 2003**

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

Академия Государственной противопожарной службы

С.А. Горячев, А.И. Обухов,  
В.В. Рубцов, С.А. Швырков

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ,  
ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ  
ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Учебное пособие

Под общей редакцией кандидата технических наук С.А. Горячева

*Одобрено редакционно-издательским советом  
Академии ГПС МЧС России*

Москва 2003

УДК 075.32:614.84  
ББК 35.11  
Г-67

**Горячев С.А., Обухов А.И., Рубцов В.В., Швырков С.А.**

Основы технологии, процессов и аппаратов пожаровзрывоопасных производств. Учебное пособие / Под ред. канд. техн. наук С.А. Горячева. –М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. –293 с.

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. В.М. Клевлеев (заведующий кафедрой инженерной безопасности и сертификации Московского Государственного университета инженерной экологии); д-р техн. наук, проф. В.П. Назаров (начальник кафедры пожарной техники Академии Государственной противопожарной службы МЧС России)

В пособии приведены общие сведения о технологии пожаровзрывоопасных производств и технологическом оборудовании для переработки и хранения горючих веществ и материалов. Большое внимание уделено устройству аппаратов, протекающим в них процессам и таким особенностям эксплуатации, которые могут привести к возникновению пожара. Предназначено в качестве учебного пособия для слушателей средних и высших образовательных учреждений пожарно-технического профиля.

Введение написано канд. техн. наук С.А. Горячевым и канд. техн. наук С.А. Швырковым, гл. 3 написана канд. техн. наук С.А. Горячевым и инж. А.И. Обуховым, гл. 8 — канд. техн. наук Горячевым и канд. техн. наук В.В. Рубцовым, гл. 1, 2, 4–7 написаны канд. техн. наук С.А. Горячевым.

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **1. ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ, ПРЕДМЕТ КУРСА «ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ЕГО РОЛЬ И МЕСТО В СИСТЕМЕ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРОВ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В АКАДЕМИИ ГПС МЧС РОССИИ**

Цель курса «Пожарная безопасность технологических процессов» – дать знания, необходимые для разработки систем предотвращения пожаров и противопожарной защиты, а также организационно-технических мероприятий, направленных на обеспечение пожарной безопасности технологических процессов современных производств.

Задачи курса: ознакомить с устройством и особенностями эксплуатации технологического оборудования, используемого для обработки, переработки и хранения пожаровзрывоопасных веществ и материалов; изучить методы анализа пожарной опасности технологических процессов, принципы и способы обеспечения их пожарной безопасности; научить применять и обосновывать расчетами технические решения по обеспечению пожарной безопасности технологического оборудования и производственных процессов в целом.

Пожарная безопасность технологических процессов как учебная дисциплина сложилась и развивается на стыке наук о технологии и пожаре. Поэтому пожарная опасность как самих технологических процессов, так и технологического оборудования (аппаратов, машин, агрегатов, транспортных коммуникаций) исследуется с использованием математического аппарата и фундаментальных законов физики, химии, термодинамики, механики и других научных дисциплин.

С другой стороны, будучи прикладной специальной дисциплиной, пожарная безопасность технологических процессов обобщает и использует практический опыт и методы работы противопожарной службы при осуществлении надзора за проектированием технологических процессов и промышленных предприятий, их строительством и реконструкцией, за обеспечением пожарной безопасности на действующих промышленных, складских и сельскохозяйственных объектах страны, а также опыт внедрения на них новых способов, установок и устройств обеспечения пожарной безопасности.

Пожарная безопасность – многогранное понятие. На кафедре пожарной безопасности технологических процессов изучается такая дисциплина, как пожарная безопасность технологических процессов, а на других специализированных кафедрах Академии изучаются смежные дисциплины, что позволяет получать комплексные знания, необходимые для реше-

ния задач по обеспечению пожарной безопасности проектируемых, строящихся, действующих и реконструируемых промышленных предприятий.

## **2. КРАТКИЙ ОЧЕРК РАЗВИТИЯ ЗНАНИЙ О ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВ И ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

В окружающей нас природе протекают разнообразные явления, которые называют естественными процессами. Промышленные процессы переработки природных материалов в средства производства и предметы потребления называются производственными или технологическими процессами. Изучение технологических процессов и разработка наиболее эффективных способов их проведения составляет предмет технологии.

Наука о технологии как самостоятельная отрасль прикладных знаний возникла в конце XVIII столетия в связи с развитием крупной машинной промышленности. Несколько слов об истории технологии. На основании имеющихся археологических данных можно сделать вывод, что более 7–8 тыс. лет тому назад люди добывали и перерабатывали некоторые руды, глины, использовали в качестве топлива древесину, уголь, нефть. За 3–4 тыс. лет до нашей эры изготовляли стекло и керамические изделия, минеральные краски, масла. За несколько веков до нашей эры добывали серу, соду, производили косметику, зажигательные снаряды, пытались перерабатывать нефть и уголь. Уже в начале нашей эры в Китае изобрели бумагу, в VI веке там же начали делать фарфор.

Становление и развитие технологии в России приходится на начало XVII века. В 1632 г. в России был построен первый доменный завод, а в 1635 г. – стекольный завод вблизи Москвы. Первый химический завод в России, производивший азотную кислоту, купорос, краски, скипидар, канифоль и другие готовые продукты и полуфабрикаты был построен в 1720 г.; первый нефтеперегонный завод на р. Ухте был построен в 1745 г.; производство серной кислоты камерным способом начато в 1805 г.; синтез анилина по методу Н.Н. Зинина освоен в 1842 г.; пиролиз нефтяных углеводородов по методу А.А. Летнего – в 1871 г.; крекинг нефти по методу В.Г. Шухова – в 1890 г.; производство бездымного пороха по методу Д.И. Менделеева освоено в 1892 г.; производство противогазов Н.Д. Зелинского освоено и они были использованы в боевых условиях в 1915 г.; производство синтетического каучука по методу С.В. Лебедева начато в 1932 г.; использование кислорода в металлургии по методу И.П. Бардина – в 1944 г. В 1954 г. в СССР построена первая в мире атомная электростанция в г. Обнинске. Первые в мире искусственные спутники Земли (1957 г.), Солнца (1959 г.), Луны (1966 г.), Венеры (1975 г.) запущены в СССР. Этот перечень можно продолжить и далее.

Возникновение и развитие промышленного производства имело, к сожалению, свои отрицательные стороны, в том числе оно привело к увеличению числа пожаров и ущерба от них. В царской России вопросы обеспечения пожарной безопасности производств были отданы на откуп предпринимателям и, в некоторой мере, страховым акционерным компаниям. Надзора со стороны государства за противопожарным состоянием предприятий фактически не было, так как отдельные постановления в этом направлении сводились к элементарным мерам чисто формального характера. В 1918 г. после обобществления всех средств производства в советской России и появления государственного страхования убытки от пожаров на предприятиях становятся убытком для государства. В связи с этим вопрос о пожарной безопасности предприятий приобрел государственное значение и потребовал подготовки профессиональных кадров.

Впервые пожарная профилактика как учебная дисциплина стала предметом изучения в Ленинградском пожарном техникуме (ЛПТ), организованном в 1924 г. В то время в ЛПТ, а позже и в других пожарно-технических учебных заведениях вплоть до 1964 г. она включала в себя весь комплекс направлений по обеспечению пожарной безопасности объектов промышленного и гражданского назначения. В 1964 г. на факультете инженеров пожарной техники и безопасности (ФИПТиБ) при Высшей школе МВД СССР по предложению Михаила Васильевича Алексеева была создана кафедра пожарной профилактики в технологических процессах производств, на которой читалась и изучалась аналогичная дисциплина.

Большой вклад в становление и развитие пожарной безопасности технологических процессов внесли такие ученые и преподаватели, как П.М. Браун и В.А. Эллисон – начало 30-х годов; П.Г. Демидов, П.И. Дмитриев и Ф.Д. Скаженик – конец 30-х годов. После окончания ВОВ с середины 40-х годов – М.В. Алексеев, В.М. Смирнов, А.Г. Исправникова, А.Н. Савушкина, а с середины 70-х годов – О.М. Волков, Н.Ф. Шатров, А.П. Петров, В.С. Клубань и другие.

Наиболее значительным вкладом в развитие науки о пожарной безопасности технологических процессов следует считать создание доцентом М.В. Алексеевым комплексного метода анализа пожарной опасности и защиты технологических процессов, что позволило заложить основы для системного подхода к решению вопросов обеспечения пожарной безопасности производств. Разработки кафедры в указанном направлении использованы при создании Государственных стандартов ГОСТ 12.1.004–91 «Пожарная безопасность. Общие требования» и ГОСТ Р 12.3.047–98 «Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля», учитываются при разработке правил пожарной безопасности федерального и отраслевого уровней, а также норм пожарной

безопасности по применению способов, установок и устройств для обеспечения противопожарной защиты технологических процессов и оборудования, других нормативных документов.

Метод М.В. Алексеева используют работники пожарной охраны, занимающиеся нормативно-технической и инспекторской деятельностью, а также эксперты при проведении расследований причин аварий и пожаров на действующих промышленных и сельскохозяйственных предприятиях и объектах складского назначения.

### **3. ВЗАИМОСВЯЗЬ И ВЗАИМОУСЛОВЛЕННОСТЬ ПРОБЛЕМ ТЕХНОЛОГИИ, ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Развитие ведущих сфер общественного производства направлено не только на подъем экономики, но и на создание наиболее благоприятных условий для высокопроизводительного труда, на совершенствование системы охраны труда и повышение уровня экологической безопасности. Для создания этих условий разрабатываются и внедряются новые эффективные и безопасные процессы, более надежное технологическое оборудование, современные приборы и системы контроля технологических параметров, средства защиты и автоматизированные системы управления.

Понятие «Охрана труда» включает в себя три независимые составные части: технику безопасности, пожарную безопасность и промышленную санитария, которые неразрывно связаны друг с другом. Чтобы уяснить взаимосвязь и взаимообусловленность проблем технологии, пожарной безопасности и охраны окружающей среды, рассмотрим реальный достаточно простой и наглядный технологический процесс транспортировки нефти по магистральному нефтепроводу из районов ее добычи в места переработки на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ). Сущность технологии транспортировки нефти ясна из схемы, приведенной на рис. 1.

Добытая на нефтепромыслах 1 нефть обезвоживается и дегазируется на пунктах подготовки нефти к транспортировке 2 и поступает в резервуарный парк 3 магистрального нефтепровода, откуда забирается насосами (подпорными и магистральными) головной НПЗ 4 и под высоким давлением подается в трубы 5. Так как транспортировка нефти осуществляется на расстояния, достигающие сотен и тысяч километров, то для обеспечения заданной производительности системы на трассе трубопровода имеются дополнительные насосоперекачивающие станции 6, в состав которых часто входят резервуарные парки для хранения резервных количеств нефти, чтобы обеспечить бесперебойную работу нефтепровода по всей

его длине (собственно в состав магистрального нефтепроводного предприятия входят объекты, обозначенные на схеме цифрами 3–5).

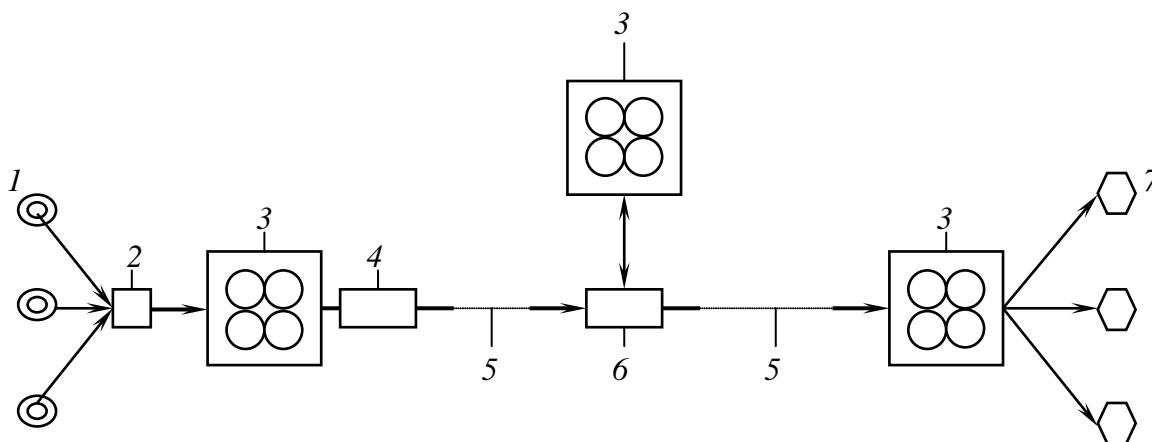


Рис. 1. Схема магистрального нефтепровода:

1–нефтепромысел; 2–пункт подготовки нефти; 3–резервуарный парк; 4–головная насосоперекачивающая станция (головная НПС); 5–линейная часть нефтепровода (магистральный нефтепровод); 6–промежуточная НПС; 7–потребитель (НПЗ и др.)

Резервуары в таких парках обычно заполнены не полностью, а на половину своего объема, чтобы в случае аварийных или каких-либо других ситуаций, возникающих на «трубе» после станции, принимать нефть с промыслов или с предшествующих участков трубопровода, а в случае прекращения подачи нефти на станцию – выдавать продукт из резервуаров. Не вдаваясь в особенности технической эксплуатации резервуарных парков магистральных нефтепроводов, необходимо отметить, что уровень нефти в резервуарах периодически изменяется: снижается ниже среднего уровня или повышается. При снижении уровня нефти в резервуары со стационарной крышей через дыхательные устройства подсасывается атмосферный воздух, что приводит к образованию во внутреннем пространстве взрывоопасной паровоздушной смеси. При повышении уровня нефти в резервуарах нефтяные пары выделяются через дыхательные устройства в атмосферу с образованием наружных зон взрывоопасных концентраций. Выделившиеся в атмосферу нефтяные пары, естественно, загрязняют окружающую среду. Взрывопожарная и экологическая опасности возникают даже при нормальном режиме эксплуатации производства. Любые неплотности, течи в оборудовании, неисправности резервуарной дыхательной арматуры и, тем более, разрушения резервуаров и трубопроводов чрезвычайно опасны и в пожарном отношении и в отношении загрязнения окружающей среды.



Известно множество случаев в нашей стране и за рубежом, когда при аварийной разгерметизации резервуаров и трубопроводов происходили не только экологические катастрофы, связанные с загрязнением среды, но и трагедии, приведшие к массовой гибели людей. Например, 1 марта 1960 года на Каменской нефтебазе в Ростовской области произошло полное разрушение наземного вертикального стального резервуара объемом 700 м<sup>3</sup>, которое привело к разливу хранимого бензина на площади до 10 тыс. м<sup>2</sup>. Пожар охватил все строения и часть резервуарного парка нефтебазы и, кроме того, распространился на жилые дома, расположенные на расстоянии 60 м от территории нефтебазы. В результате происшедшей катастрофы погиб 41 человек.

В ночь с 3 на 4 июня 1989 г. произошел разрыв магистрального трубопровода сжиженного нефтяного газа (внутренний диаметр труб 720 мм, толщина стенок 10 мм) в 900 м от полотна Башкирского отделения Куйбышевской железной дороги. В течение 6–10 мин (до момента взрыва паровоздушной смеси) разлилось более 1000 т продукта с образованием колоссальных размеров взрывоопасного облака, захватившего участок полотна железной дороги. В 1 ч 10 мин по местному времени, когда на перегоне между станциями Казаяк и Улу-Теляк находились два встречных пассажирских поезда, прогремел чудовищной силы взрыв, эквивалентный взрыву 200–300 т тринитротолуола. Были полностью разрушены участки железнодорожного полотна протяженностью 350 м и электроконтактной сети (3 км). От воздействия ударной волны в районе взрыва образовалась зона сплошного завала леса на площади 2,5 км<sup>2</sup>, в радиусе 15 км от места взрыва в населенных пунктах выбиты стекла в домах, полностью или частично разрушены рамы и шиферные покрытия. На месте катастрофы погибло 258 человек, 1224 человека получили разной степени тяжести телесные повреждения, многие из пострадавших скончались в больницах.

Аварийные разливы пожароопасных жидкостей, даже не сопровождающиеся пожарами и взрывами, часто имеют характер экологических катастроф. Так, летом 1994 года произошла авария трубопровода на севере России, в результате которой вышло наружу и разлилось на значительной площади несколько десятков тысяч тонн (по некоторым данным до 200 тыс. тонн) нефти. Нефть попала в реку Печора и достигла Баренцева моря. Частично разлившуюся нефть убрали до начала зимы и работы прекратили. Весенняя талая вода разнесла нефть за сотни километров, уничтожая все живое на огромных пространствах. Северная природа очень чувствительна к каким-либо воздействиям и последствия этой катастрофы еще до конца не оценены специалистами-экологами.

Таким образом, перед современной технологической наукой и практикой стоит триединая проблема обеспечения безопасности производств:

технической безопасности, пожарной безопасности и охраны окружающей среды. Проблемы эти решать трудно, но возможно. Большая роль в этом отводится пожарной охране, призванной не допустить к эксплуатации ненадежные, опасные в пожарном отношении производства, так как снижение пожарной опасности технологических процессов – это одновременно и улучшение условий труда и защита окружающей среды.

#### **4. СТАТИСТИКА ПОЖАРОВ – ИСТОЧНИК ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ И МЕТОДОВ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПОЖАРОВ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Несмотря на значительные успехи в деле обеспечения пожарной безопасности, на производствах непростительно часто происходят аварии, взрывы, пожары, зачастую с человеческими жертвами. Эта картина наблюдается не только в нашей стране, но и во всех индустриально развитых странах мира.

Системный анализ аварий и пожаров показывает, что при проведении научных разработок разнообразных технологических процессов в научно-исследовательских институтах, проектировании оборудования в конструкторских бюро, при строительстве и монтаже не всегда в достаточной мере решаются вопросы обеспечения нормативных требований пожарной безопасности. Одна из причин – отсутствие в этих организациях специалистов, способных квалифицированно решать эти вопросы. В то же время необходимо отметить, что у пожарной охраны недостаточно кадров, чтобы заниматься вопросами пожарной безопасности на всех этапах создания и эксплуатации производств.

Согласно статистическим данным, большинство аварий и пожаров является следствием ряда последовательных, взаимно связанных ошибочных действий людей в процессе производства и недостатков в конструкции оборудования и лишь небольшое число их зависит от случайности. Например, 67 % аварий, происшедших в различное время на предприятиях химической и нефтехимической промышленности в нашей стране и за рубежом, было вызвано неисправностью оборудования, контрольно-измерительных приборов и систем автоматического управления процессами, а 17 % аварий обусловлено отсутствием систем предотвращения пожаров и противопожарной защиты, т.е. 84 % взрывов и пожаров можно было предотвратить.

Рассмотрим обобщенные статистические данные о пожарах в России. Ежегодно происходит 250–300 тыс. пожаров (по данным за 1998–2002 гг.). Число крупных пожаров не превышает 200, но ущерб от них достигает 10 % от общего ущерба. На пожарах гибнет 12–15 тыс. человек в

год. На производственных объектах происходит около 6–7 % всех пожаров, из них по технологическим причинам возникает 3–4 % пожаров.

По местам возникновения пожары на производственных предприятиях распределялись следующим образом (в %):

- основные производственные помещения .....	39
- вспомогательные производственные помещения.....	18
- наружные технологические установки .....	10
- материальные склады.....	4
- административно-бытовые помещения .....	5
- прочие объекты.....	24
Итого:	100 %

На тех же объектах были отмечены следующие причины возникновения пожаров (в %):

- неисправности технологического оборудования и нарушения технологического процесса .....	25
- неисправности электрооборудования .....	23
- неосторожное обращение с огнем .....	20
- огневые ремонтные работы .....	13
- прочие (в т.ч. не установленные) причины .....	19
Итого:	100 %

Кафедра пожарной безопасности технологических процессов многие годы ведет научно-исследовательские работы в области обеспечения пожарной безопасности процессов хранения нефти и нефтепродуктов. Сотрудниками кафедры собраны данные, характеризующие уровень взрывопожарной опасности резервуарных парков с различными типами резервуаров и видами хранящихся в них нефтепродуктов в различных отраслях народного хозяйства, приведенные в табл. 1 и 2.

Таблица 1

**Вероятность появления источников зажигания**

Источник зажигания в резервуарном парке	Вероятность, $P_{из} \cdot 10^4$
Разряды атмосферного электричества	1,6
Разряды статического электричества	1,6

Фрикционные искры	5,4
Открытое пламя и искры	5,4
Самовозгорание пирофорных отложений	1,4

Таблица 2

**Частота возникновения пожаров**

Отрасль хозяйства и тип резервуара	Частота пожара, $N \cdot 10^4$ , 1/год
Резервуарные парки объектов переработки нефти:	
- резервуары со стационарной крышей	1,86
- резервуары с плавающей крышей	1,29
- резервуары с понтоном	4,53
Резервуарные парки объектов энергетики:	
- резервуары со стационарной крышей	5,73
Резервуарные парки объектов транспорта и распределения нефтепродуктов:	
- резервуары со стационарной крышей	1,09
- резервуары с понтоном	1,95

Согласно имеющейся на кафедре пожарной безопасности технологических процессов базы данных, за период с 1950 по 2000 год в СССР, а после его распада в России и странах СНГ, зарегистрировано 100 случаев аварий и катастроф на объектах, предназначенных для хранения нефти и нефтепродуктов, вследствие внезапных разрушений вертикальных стальных резервуаров. Более половины таких аварий классифицировались как крупные или катастрофические, в 7 из них погибло 78 человек, а 40 % аварий сопровождалось крупными пожарами с травмами людей. На рис. 2 приведены статистические данные по полным разрушениям резервуаров. Распределение разрушившихся резервуаров по их номинальным емкостям и видам находившихся в них продуктов представлено на рис. 3 и 4.

Характер взаимодействия выходящего из разрушившегося резервуара потока жидкости с защитной стеной или обвалованием таков, что в 64 % случаев поток разрушал стену или размывал обвалование, в 28 % случаев – перехлестывал через них и только в 8 % случаев, когда истечение происходило из частично заполненных РВС, обвалование выполнило свои защитные функции. В 37 % случаев поток разливающейся жидкости или сдвигающийся в результате отдачи раскрывшийся корпус резервуара разрушал или повреждал соседние резервуары.

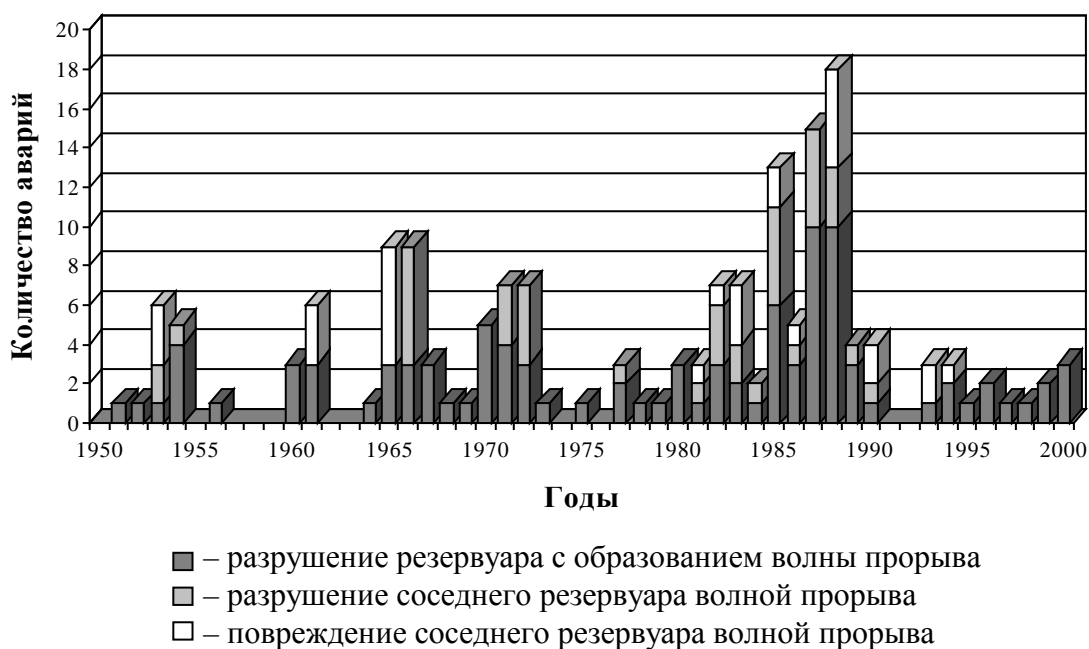


Рис. 2. Распределение разрушений резервуаров по годам

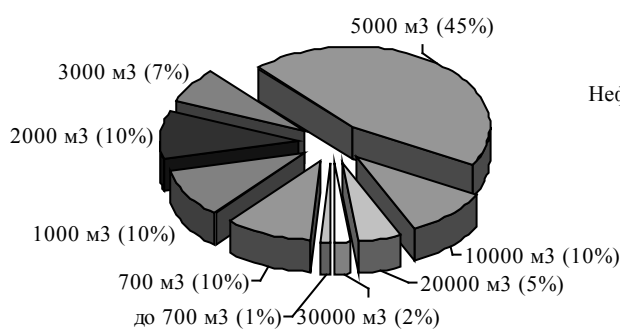


Рис. 3. Распределение разрушений по номинальным емкостям РВС

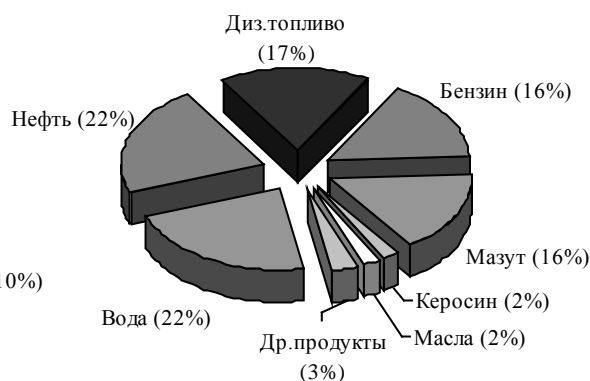


Рис. 4. Распределение разрушений по видам хранившихся в РВС продуктов

Представленные статистические данные свидетельствуют не только о высокой опасности разрушения вертикального стального резервуара, но и о необходимости разработки защитных мероприятий, адекватных рассматриваемому явлению.

Статистический анализ на объектах производственного, сельскохозяйственного и складского назначения в зависимости от стоящих перед исследователем целей можно проводить по различным признакам: по видам технологического оборудования, местам возникновения взрывов и пожаров, обращающимся на производствах веществам и т.д. Такой анализ

позволяет выявить истинные причины и места возникновения пожаров, обоснованно применять системы пожарной безопасности, а также разрабатывать новые способы, установки и устройства, направленные на обеспечение пожарной безопасности технологических операций, процессов и оборудования, установок, агрегатов, линий, цехов и производств в целом.

## **5. НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ ПО ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

На основании статей 20 и 21 Федерального закона «О пожарной безопасности», принятого Государственной Думой 18 ноября 1994 года, меры пожарной безопасности разрабатываются в соответствии с законодательством Российской Федерации, нормативными документами по пожарной безопасности, а также на основе опыта борьбы с пожарами и по результатам оценки пожарной опасности веществ и материалов, технологических процессов, изделий, конструкций, зданий и сооружений. К нормативным документам по пожарной безопасности относятся Государственные стандарты (ГОСТы), Федеральные правила и нормы пожарной безопасности (ППБ и НПБ), строительные нормы и правила (СНиПы), региональные и отраслевые правила и нормы, а также другие руководящие документы (РД), содержащие требования пожарной безопасности.

В наиболее общем виде требования к принципам и способам обеспечения пожарной безопасности объектов изложены в ГОСТ 12.1.004–91 «Пожарная безопасность. Общие требования». Требования пожарной безопасности к технологическим процессам различного назначения всех отраслей экономики страны и любых форм собственности изложены в ГОСТ Р 12.3.047–98 «Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля». В указанных стандартах на федеральном уровне изложены требования к созданию, строительству, эксплуатации и реконструкции технологических объектов всех отраслей производства, а также требования по разработке и изменению норм технологического проектирования и других нормативных документов, регламентирующих мероприятия по обеспечению пожарной безопасности на производственных объектах, по разработке проектной документации (технологических частей проектов) и технологических регламентов. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации (ППБ–01–93) определяют порядок организации пожарной безопасности для всех предприятий, учреждений и организаций независимо от отраслевой принадлежности и форм собственности.

К нормативным документам федерального уровня относятся, в частности, такие нормы Государственной противопожарной службы, как НПБ 105–95 «Определение категорий помещений и зданий по взрывопо-

жарной и пожарной опасности», НПБ 107–97 «Определение категорий наружных установок по пожарной опасности», которые устанавливают методики определения категорий помещений и зданий производственного и складского назначения по взрывопожарной и пожарной опасности, а также наружных установок по пожарной опасности, исходя из вида находящихся (обращающихся) на производствах (складах) горючих веществ и материалов, их количества и особенностей технологических процессов. Категории помещений, зданий и наружных установок применяются для установления нормативных требований по обеспечению взрывопожарной и пожарной безопасности указанных объектов в отношении планировки и застройки, этажности и площади (габаритов), размещения помещений и установок, инженерного оборудования, а также конструктивных решений.

На основании нормативных документов федерального уровня разрабатываются нормативные документы регионального и ведомственного (отраслевого) уровней, а также местного (объектового) уровня. В настоящее время в нашей стране ведется интенсивная работа по созданию единой системы нормативных документов по пожарной безопасности, включая пожарную безопасность технологических процессов и технологического оборудования. Это – длительный, кропотливый и непрерывный процесс, который осуществляется на различных уровнях при участии преподавателей Академии ГПС. Более подробно содержание и методики использования нормативно-технических документов по пожарной безопасности технологических процессов и оборудования будут рассматриваться при изучении соответствующих разделов нашей дисциплины.

### **Контрольные вопросы**

1. Укажите цель и задачи курса «Пожарная безопасность технологических процессов».
2. Что изучает дисциплина «Пожарная безопасность технологических процессов»?
3. Каким образом пожарная безопасность технологических процессов связана со смежными профилактическими дисциплинами, изучаемыми на других кафедрах академии?
4. Какие процессы называются естественными, а какие – технологическими?
5. Что составляет предмет технологии?
6. Какие отрицательные стороны имело возникновение и развитие промышленного производства?

7. Какой вклад внес доцент М.В. Алексеев в развитие науки о пожарной безопасности технологических процессов?
8. В чем заключается сущность анализа пожарной опасности?
9. Что такое пожарная безопасность?
10. Что такое пожарная безопасность технологических процессов?
11. Как обеспечивается создание наиболее благоприятных условий для высокопроизводительного труда, совершенствование системы охраны труда и повышение уровня экологической безопасности на производствах?
12. Что включает в себя понятие «Охрана труда»?
13. Какая имеется взаимосвязь между проблемами технологии, пожарной безопасности и охраны окружающей среды?
14. Что такое авария и крупная авария?
15. По каким причинам происходит большинство аварий и пожаров в промышленности?
16. Что позволяет выявить статистический анализ аварий и пожаров на промышленных объектах?
17. Для чего необходимо выявлять истинные причины аварий и пожаров на промышленных объектах?
18. Раскройте содержание статей 20 и 21 Федерального закона «О пожарной безопасности», принятого Государственной Думой 18 ноября 1994 года, с точки зрения обеспечения пожарной безопасности технологических процессов.
19. В каком нормативном документе в наиболее общем виде изложены требования к принципам и способам обеспечения пожарной безопасности объектов?
20. В каком нормативном документе изложены требования пожарной безопасности к технологическим процессам различного назначения всех отраслей экономики страны и любых форм собственности?
21. Какие документы являются базовыми для разработки нормативных документов регионального, ведомственного и местного уровней?

## Литература

### Основная

1. Рабочая программа курса пожарная профилактика технологических процессов (5 лет обучения). –М.: ВИПТШ МВД России, 1995.
2. Федеральный закон «О пожарной безопасности». –М.: АО «Противопожарный центр Подмосковья», 1995.
3. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (ГОСТ 12.1.004–91). –М.: ИПК издательство стандартов, 1996.



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

5. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации (ППБ–01–93). –М.: Инфра-М, 1994.

Дополнительная

1. К а с а т к и н А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Изд-во «Химия», 1975.

# Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ С ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫМИ СРЕДАМИ

## 1.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Современные предприятия представляют собой сложные комплексы и состоят из отдельных цехов, участков, установок, связанных между собой рельсовым и автомобильным транспортом, трубопроводами, конвейерами или иными транспортными коммуникациями. Технологическое оборудование (машины и аппараты, которые объединены коммуникациями в технологическую схему производства той или иной продукции) размещается в производственных помещениях и на наружных установках.

Несмотря на большое разнообразие получаемых продуктов и сложность самих производственных процессов, существует ограниченное количество типов и видов аппаратов и машин для реализации этих процессов, имеющих принципиальные конструктивные отличия. Так, например, в химическом и нефтяном машиностроении ассортимент выпускаемых аппаратов и машин делится всего на 15 основных групп: теплообменники, выпарные аппараты, ректификационные и сорбционные колонны, сушилки, барабанные аппараты, емкостная аппаратура, центрифуги, сепараторы, насосы, компрессоры и другое оборудование. Подобные перечни существуют и в других отраслях машино- и аппаратостроения.

Основным классификационным признаком технологического оборудования является физико-химическая сущность протекающего в аппарате или машине технологического процесса, в соответствии с чем оборудование подразделяется на механическое, гидромеханическое, тепловое, массообменное и химическое (более подробно процессы, протекающие в технологическом оборудовании, будут рассмотрены в следующих главах). Оборудование, кроме того, классифицируют:

- по конструкции (емкостное, башенное, с перемешивающими устройствами, с рядным или V-образным расположением цилиндров и т.д.);
- по виду применяемых материалов (чугунное, стальное, эмалированное, винипластовое и др.);
- по способу изготовления (сварное, клепаное, клееное и т.д.);
- по организации подвода сырья и отвода продуктов (периодически, непрерывно или полунепрерывно действующее);
- по расположению относительно горизонтальной плоскости (горизонтальные, вертикальные или наклонные аппараты);
- по конструктивным особенностям внутренних устройств (лопастные, пропеллерные, турбинные и другие мешалки; ситчатые, провальные, колпачковые или другие тарелки барботажных абсорберов и ректификацион-

ных колонн и т.д.);

- по способу подвода и отвода тепла (рекуперативные или регенеративные теплообменники; конвективные, терморрадиационные, диэлектрические или другие сушилки и т.д.);

- по форме и виду ограждающих поверхностей (цилиндрические, сферические, конические емкости или бункеры и др.);

- по количеству рабочих органов (одноцилиндровые, двухцилиндровые или многоцилиндровые компрессоры и насосы) и по другим признакам.

При описании процесса производства той или иной продукции указывают не только на последовательность проведения технологических операций, но приводят также названия и режимы работы оборудования, в которых эти процессы протекают. Полное название аппарата или машины во

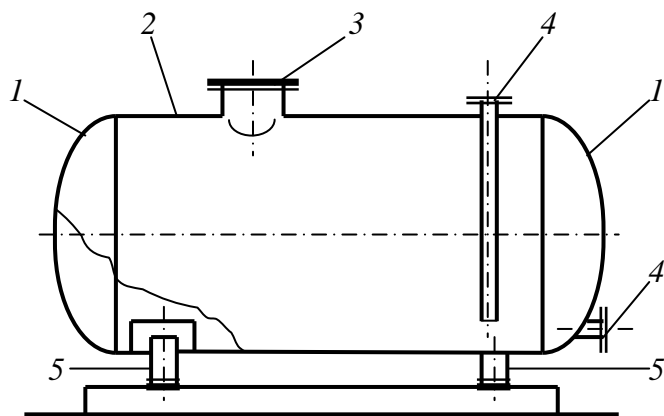


Рис. 1.1. Сварная горизонтальная цилиндрическая емкость с эллиптическими днищами: 1—днища (крышки); 2—корпус; 3—смотровой люк (лаз); 4—патрубки (штуцеры); 5—опоры (лапы)

многих случаях дает представление об их устройстве и конструктивной схеме. Например, можно представить схему горизонтальной сварной емкости с эллиптическими днищами (рис. 1.1) или поршневой насос двойного действия.

Особенности классификации и устройства типовых аппаратов и машин, используемых для проведения основных производственных процессов, будут рассмотрены в следующих главах.

## 1.2. МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫМИ СРЕДАМИ

Для изготовления технологического оборудования широко применяются следующие конструкционные материалы: черные металлы и сплавы (стали, чугуны); цветные металлы и сплавы (медь, титан, латуни, дюралюмины и другие металлы и сплавы); неметаллические материалы (пластмассы, керамика, углеграфиты, силикаты и другие материалы).

Выбор материалов для изготовления технологического оборудования определяется: факторами, зависящими от рабочих условий эксплуатации;

факторами, непосредственно характеризующими свойства конструкционного материала. К первому типу факторов, зависящих от рабочих условий эксплуатации, относятся: температура, давление и свойства среды. Ко второму типу факторов, характеризующих свойства конструкционных материалов, относятся физико-механические и технологические свойства материалов (технологичность материалов). Наиболее важными технологическими свойствами материалов являются свариваемость, обрабатываемость давлением и резанием.

Наряду с перечисленными факторами при выборе того или иного материала для изготовления технологического оборудования принимают во внимание экономические соображения.

С точки зрения обеспечения пожаровзрывобезопасности технологического оборудования конструкционные материалы должны обладать:

- высокой механической прочностью при заданных рабочих давлениях и температурах, при допустимых отклонениях от них, а также при испытании оборудования;
- высокой химической стойкостью в рабочих средах при заданных технологических параметрах протекающих в аппаратах процессов и допустимых отклонениях от них.

Указанным требованиям удовлетворяют, в первую очередь, стали, которые и нашли наибольшее применение в машино- и аппаратостроении. Конструкционные стали – сплавы железа с углеродом (обычно до 1 %) и другими элементами.

В обозначения марок сталей входят буквы русского алфавита, которые характеризуют наличие в сталях помимо железа и углерода других компонентов – легирующих элементов. Основные из них следующие: А – азот, Б – ниобий, В – вольфрам, Г – марганец, Д – медь, Е – селен, К – кобальт, М – молибден, Н – никель, П – фосфор, Р – бор, С – кремний, Т – титан, Ф – ванадий, Х – хром, Ц – цирконий, Ч – редкоземельный элемент, Ю – алюминий.

Кроме этого, введены обозначения групп сталей обыкновенного качества (буквы Б или В стоят в начале марки стали), а также качества и назначения стали (буквы стоят в конце марки стали): А – высококачественная, К – котельная (для котлостроения), Л – литевая (для отливок), Ш – особо высококачественная.

В зависимости от состава и свойств конструкционные стали подразделяются на пять основных групп. Ниже приведены их краткие характеристики и примеры обозначения.

### **1.2.1. Стали конструкционные обыкновенного качества**

В зависимости от назначения стали обыкновенного качества подразделяются на три группы: А – поставляемые по механическим свойствам, Б – поставляемые по химическому составу и В – поставляемые по механическим свойствам и химическому составу.

В обозначениях марок этих сталей буквы «Ст» означают «сталь», цифры от 0 до 6 – условный номер марки. В обозначениях сталей группы А букву «А» не указывают. В зависимости от степени раскисления стали изготавливают кипящими (кп), полуспокойными (пс) и спокойными (сп). Каждая группа сталей выпускается 2–6 категорий. Цифру, указывающую категорию, добавляют в конце обозначения марки стали (первую категорию в обозначении марки стали не указывают).

Примеры обозначения марок сталей обыкновенного качества:

Ст0 – сталь первой категории марки 0 группы А (степень раскисления не указана);

Ст3-2 – сталь второй категории марки 3 группы А (степень раскисления не указана);

ВСт1сп5 – спокойная сталь пятой категории марки 1 группы В;

БСт3Гпс2 – полуспокойная сталь второй категории марки 3 группы Б с повышенным содержанием марганца (буква «Г» в обозначении марки стали).

### **1.2.2. Стали конструкционные качественные**

В обозначениях марок этих сталей используются двузначные числа, означающие среднее содержание углерода в сотых долях процента, указывается степень раскисления, назначение или способ изготовления, легирующий элемент.

Примеры обозначения марок качественных углеродистых конструкционных сталей:

05кп – кипящая сталь, содержащая до 0,05 % углерода;

30 – сталь, содержащая 0,3 % углерода;

15Л – отливки из стали, содержащей 0,15 % углерода;

18К – сталь для котлостроения, содержащая 0,18 % углерода;

20Г – сталь, содержащая 0,2 % углерода и около 1 % марганца.

### **1.2.3. Стали конструкционные низколегированные**

Конструкционные низколегированные стали обычно содержат до 2,5 % легирующих элементов, которые придают им определенные физико-

химические и механические свойства. В обозначениях марок этих сталей используются двузначные числа, означающие среднее содержание углерода в сотых долях процента, после которых следуют буквы и цифры, указывающие на легирующий элемент и его количество в процентах. Отсутствие цифр после букв указывает, что количество легирующих элементов составляет около 1 %.

Примеры обозначения марок низколегированных сталей:

18Г2 – марганцевая сталь, содержащая 0,18 % углерода и около 2 % марганца;

15ГФ – марганцевованадиевая сталь, содержащая 0,15 % углерода, около 1 % марганца и 1 % ванадия;

14ХГС – хромомарганцевокремниевая сталь, содержащая 0,14 % углерода, около 1 % хрома, 1 % марганца и 1 % кремния.

#### **1.2.4. Стали конструкционные легированные**

Стали этой группы содержат от 2,5 до 10 % легирующих элементов.

Примеры обозначения марок легированных (среднелегированных) конструкционных сталей:

15Х5 – хромистая сталь, содержащая 0,15 % углерода и 5 % хрома;

30ХГСН2А – высококачественная хромомарганцевокремненикелевая сталь, содержащая до 0,3 % углерода, около 1 % хрома, 1 % марганца и 1 % кремния, около 2 % никеля;

38ХМЮШ – особо высококачественная хромомолибденоалюминиевая сталь, содержащая 0,38 % углерода, около 1 % хрома, 1 % алюминия и 1 % молибдена.

#### **1.2.5. Стали конструкционные высоколегированные**

Высоколегированные стали и сплавы содержат более 10 % легирующих элементов и в зависимости от свойств подразделяются на три подгруппы:

I – коррозионно-стойкие (нержавеющие), обладающие стойкостью против электрохимической и химической коррозии;

II – жаростойкие (окалиностойкие), обладающие химической стойкостью в газовых средах при повышенных температурах и работающие без нагрузок;

III – жаропрочные, работающие под нагрузками при высоких температурах.

Примеры обозначения марок высоколегированных конструкционных сталей и сплавов разного класса:

12X18H10TЛ – литевая хромоникелевая сталь, содержащая около 0,12 % углерода, 18 % хрома, 10 % никеля, 1 % титана (коррозионно-стойкая сталь);

00X18H12Б – хромоникелениобиевая сталь, содержащая около 0,1 % углерода, 18 % хрома, 12 % никеля и 1 % ниобия (коррозионно-стойкая сталь);

10X17H13M3Т – хромоникелемолибденотитановая сталь, содержащая до 0,1 % углерода, около 17 % хрома, 13 % никеля, 3 % меди и 1 % титана (жаростойкая сталь);

45X25H20C2Л – литевая хромоникелекремниевая сталь, содержащая около 0,45 % углерода, 25 % хрома, 20 % никеля, 2 % кремния (жаропрочная сталь).

Для изготовления аппаратуры широко применяют биметаллические стали. Биметалл – двухслойный лист, состоящий из двух различных металлов. Основной (толстый) слой воспринимает нагрузку. Тонкий слой, называемый защитным или плакирующим, предохраняет основной слой от коррозионного воздействия среды. Основным слоем биметаллической стали выполняют из дешевых углеродистых сталей (марок ВСтЗсп5, 20К, 16ГС и других), а защитный слой толщиной 1–6 мм – из легированных сталей 4 и 5 групп (марок 15Х5, 08Х13, 0Х18Н10Т, 45Х14Н14В2М и других).

Пример обозначения биметаллической стали:

10+08Х13 – биметаллическая (двухслойная) сталь, основным слоем которой выполнен из качественной конструкционной стали марки 10, а плакирующий слой – из жаростойкой высоколегированной стали марки 08Х13.

### 1.2.6. Конструкционные чугуны и цветные металлы

Основные марки конструкционных чугунов, цветных металлов и сплавов приведены ниже.

Чугуны, представляющие собой сплавы железа с углеродом (в среднем 2–4 % углерода) и другими элементами, обладают хорошими литейными свойствами, что позволяет изготавливать из них корпусные детали и узлы сложной конфигурации. Наибольшее распространение получили:

- серый чугун (буквы «СЧ» в обозначении марки): СЧ 00, СЧ 12-28, СЧ 36-56 и другие (первые две цифры показывают среднюю величину предела прочности при растяжении в кгс/мм<sup>2</sup>, вторые – предел прочности при испытании на изгиб в кгс/мм<sup>2</sup>);

- жаростойкий чугун (буквы «ЖЧ» в обозначении марки): ЖЧХ15, ЖЧХ30 и др. (содержание хрома соответственно 15 и 30 %, содержание кремния 1–2 % );

- высокохромистые жаростойкие чугуны: 75Х28Л, 135Х34Л и другие;
- ковкий чугун (буквы «КЧ» в обозначении марки): КЧ 30-6, КЧ 35-10, КЧ 63-2 и другие (первые две цифры соответствуют пределу прочности при растяжении в кгс/мм<sup>2</sup>, вторые – относительное удлинение в процентах);
- ферросилиды (буква «С» в обозначении марки): С15, С17, содержащие соответственно 15 и 17 % кремния;
- жаростойкий чугун с высоким содержанием никеля: ЧН15Д7Х2 и другие чугуны.

Примеры обозначения некоторых марок цветных металлов и их сплавов:

- алюминий АД00, АД0, АД1, АД;
- сплавы алюминия с марганцем (магналии): АМц (около 1,5 % марганца), АМг (около 7 % марганца) и другие;
- дюралюмины (сплавы алюминия с медью и другими элементами): Д1, Д1АМ, Д16, АД1, В95 и другие;
- медь М00, М1р, М3 и т. д.;
- латуни (сплавы меди с цинком): Л63, Л59-1, ЛЖмц59-1-1 и другие;
- бронзы (сплавы меди с другими металлами, кроме цинка): БрАМц9-2, БрАЖН10-4-4 и другие;
- никель НП1, НП2 и т. д.;
- никелевые сплавы ХН65МВ, Н70МФ («хастеллой») и другие;
- титан ВТ1-00, ВТ1-0 и его сплавы ОТ4, ОТ4-1, ВТ5-1, ИРМ-2 и другие;
- свинец С1, С2, С3, ССу-1 и т. д.;
- медноникелевый сплав НМЖМц28-2,5-1,5 («монель»), в котором содержится 28 % меди, 2,5 % железа, 1,5 % марганца, остальное – никель.

Неметаллические материалы применяются в машино- и аппаратуростроении в качестве конструкционных и футеровочных материалов. К неметаллическим материалам относятся: полимерные материалы без наполнителей (полиэтилен, полипропилен, фторопласты и др.) и с наполнителями (фаолит, стеклопластики и др.), углеграфитовые материалы, стекло и ситаллы, фаянс, эмали, керамика, керметы, материалы на основе каучука (резина, эбонит) и другие материалы и их композиции.

### **1.3. ПОВЕДЕНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ И ПОНИЖЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ И ДАВЛЕНИЯХ**

Наиболее важными показателями, характеризующими механические свойства (прочностные характеристики) конструкционных материалов, являются: предел прочности, или временное сопротивление,  $\sigma_b$ , предел теку-



чести  $\sigma_T$ , относительное удлинение  $\varepsilon$  или сужение  $\varepsilon_1$ , модуль упругости при растяжении  $E$  (модуль продольной упругости), коэффициент Пуассона  $\mu$ , ударная вязкость  $a_H$ . Помимо указанных механических характеристик, для аппаратов, работающих при повышенных температурах, необходимо знать такие свойства, как ползучесть, длительная прочность материала, склонность к тепловой хрупкости, чувствительность к старению и прочие, а для аппаратов, работающих при пониженных температурах – склонность к хладоломкости. Из физических характеристик важно знать температурный коэффициент линейного расширения материала  $\alpha$  и его коэффициент теплопроводности  $\lambda$  (особенно для теплообменной аппаратуры).

Рассмотрим в качестве примера поведение так называемых пластичных и хрупких материалов при их растяжении и сжатии. На рис. 1.2 и 1.3 приведены диаграммы растяжения, а на рис. 1.4 и 1.5 – сжатия пластичных (вязких) и хрупких материалов. На рис. 1.2 и 1.3 по осям абсцисс отложено относительное удлинение (относительная продольная деформация) материала, а на рис. 1.4 и 1.5 относительное сужение (относительная поперечная деформация).

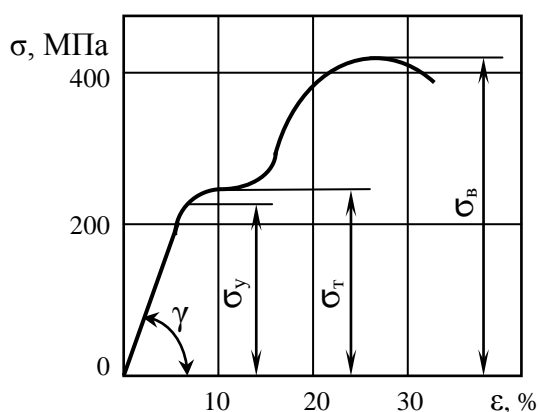


Рис. 1.2. Диаграмма растяжения пластичного материала

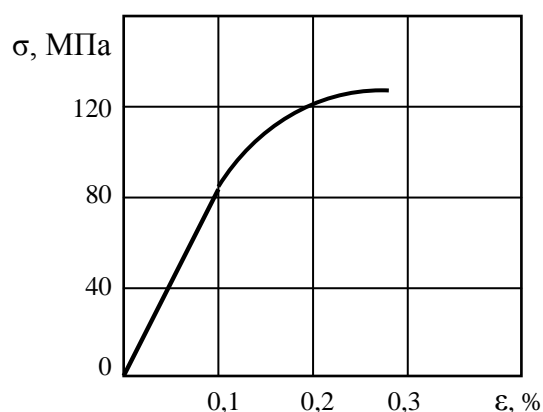


Рис. 1.3. Диаграмма растяжения хрупкого материала

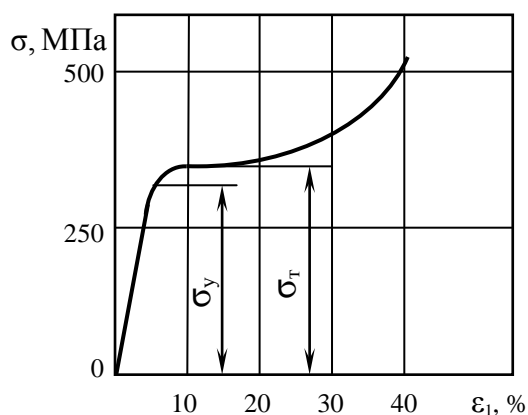


Рис. 1.4. Диаграмма сжатия пластичного материала

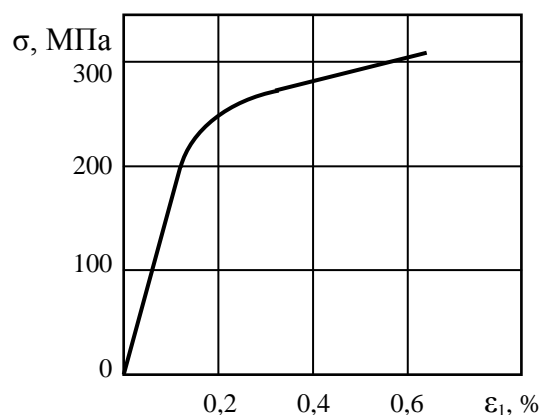


Рис. 1.5. Диаграмма сжатия хрупкого материала

На рис. 1.2–1.5 обозначено:

$\sigma_y$  – предел упругости, т.е. напряжение, превышение которого вызывает незначительные остаточные деформации (не более 0,03 %);

$\sigma_T$  – предел текучести, т.е. напряжение, при котором происходит течение материала (рост деформаций) при постоянной нагрузке;

$\sigma_B$  – предел прочности, или временное сопротивление, т.е. напряжение, вызванное наибольшей нагрузкой, при которой начинается разрушение образца.

Величину относительного удлинения (или сжатия) определяют из выражения

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} 100 \% , \quad (1.1)$$

где  $\Delta l$  – абсолютное удлинение (сжатие) образца;  $l$  – первоначальная длина образца.

Величину нормального напряжения в соответствии с законом Гука определяют из выражений

$$\sigma = \varepsilon E \quad \text{или} \quad \sigma = \frac{P}{F} , \quad (1.2)$$

где  $E$  – модуль упругости (сжатия) материала, характеризующий сопротивляемость материала упругой деформации при растяжении (сжатии);  $E = \operatorname{tg} \gamma$  (см. рис. 1.2);  $P$  – сила, растягивающая или сжимающая образец;  $F$  – поперечное сечение образца.

Под действием внешней силы  $P$  в образце возникают не только продольные, но и поперечные деформации. Величину относительной поперечной деформации определяют из выражения

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta b}{b} 100 \% , \quad (1.3)$$

где  $\Delta b = |b - b_1|$  – абсолютное сужение (расширение) образца;  $b$  – первоначальный поперечный размер образца;  $b_1$  – поперечный размер образца после нагружения силой  $P$ .

Хрупкие материалы (чугун, керамика, бетон и др.) разрушаются под действием растягивающих сил при очень малых остаточных деформациях (рис. 1.3). Для пластичных материалов (сталь, медь и др.) характерны большие значения остаточных деформаций (рис. 1.2). При сжатии пла-

стичные материалы ведут себя почти так же, как и при растяжении (рис. 1.4). Хрупкие же материалы (рис. 1.5) при сжатии разрушаются так же, как и при растяжении, т. е. при весьма малых деформациях. В то же время необходимо отметить, что хрупкие материалы сопротивляются сжатию гораздо лучше, чем растяжению.

Рассмотренные характеристики «хрупкий» и «пластичный» для многих конструкционных материалов являются относительными и меняются при изменении температуры окружающей среды, а также при возникновении некоторых видов коррозии. Так, пластичная при нормальной температуре конструкционная сталь обыкновенного качества становится хрупкой при низких температурах (при минус 30 °С и ниже), а пластичная нержавеющая сталь типа 18-9 становится хрупкой при появлении межкристаллитной коррозии.

Механические свойства конструкционных материалов, из которых изготовлено технологическое оборудование, претерпевают изменения в зависимости от технологических параметров протекающих в аппаратах процессов, свойств и характеристик технологической и окружающей среды. При повышенных температурах механические свойства конструкционных материалов ухудшаются, одновременно интенсифицируются коррозионные процессы. Низкие температуры также вызывают ухудшение механических свойств материалов.

При повышенных давлениях ужесточаются требования к качеству конструкционных материалов (при больших давлениях используют стали с лучшими механическими свойствами и пониженным содержанием серы, фосфора и других вредных примесей). Кроме того, увеличение давления часто приводит к интенсификации коррозии. При наличии в аппаратах пожаровзрывоопасных сред к выбору материалов для изготовления аппаратов предъявляют повышенные требования.

Известно, что у углеродистых конструкционных сталей при температурах 150–300 °С снижается пластичность. Поэтому при изготовлении и ремонте оборудования следует избегать деформирования таких сталей (гибки,ковки, отбортовки) в указанном интервале температур.

Некоторые легированные стали при длительной работе в интервале температур 400–500 °С приобретают тепловую хрупкость. Наличие хрома, марганца и никеля в сталях способствует ее возникновению, а молибдена и вольфрама – уменьшает склонность стали к тепловой хрупкости.

В результате одновременного воздействия высоких температур и нагрузок аппараты могут разрушаться вследствие ползучести металла. *Ползучестью* называют свойство металла медленно, непрерывно пластически деформироваться под действием постоянной нагрузки при высоких температурах. Пределом ползучести (условным)  $\sigma_{п}$  называют напряжение,

которое вызывает общую деформацию ползучести 1 % ( $\Delta l = 0,01 l$ ) за время, равное  $10^4$  или  $10^5$  ч, что будет соответствовать скорости ползучести  $10^{-6}$  или  $10^{-7}$  ч $^{-1}$ . Значения условного предела ползучести обозначаются символами  $\sigma_{П10^{-6}}$  или  $\sigma_{П10^{-7}}$ .

На рис. 1.6 показаны графики, характеризующие пластические деформации образцов, работающих под постоянной нагрузкой и при повышенной температуре, в зависимости от времени испытания. При небольших начальных напряжениях (кривая 1) пластические деформации с течением времени затухают. При высоких начальных напряжениях (кривая 2) процесс ползучести с течением времени изменяется (на кривой ползучести видны три участка):

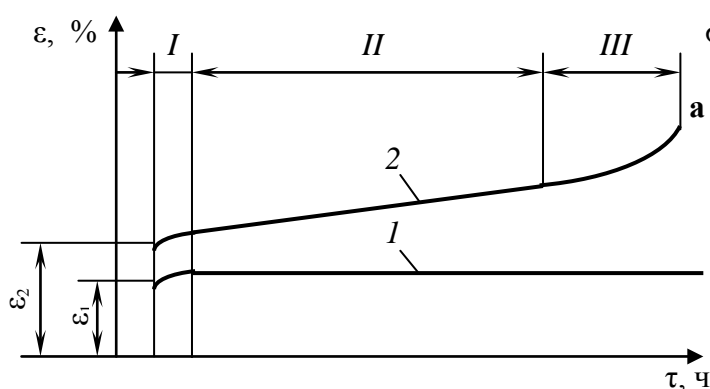


Рис. 1.6. Кривые ползучести:  
 $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  – начальные удлинения

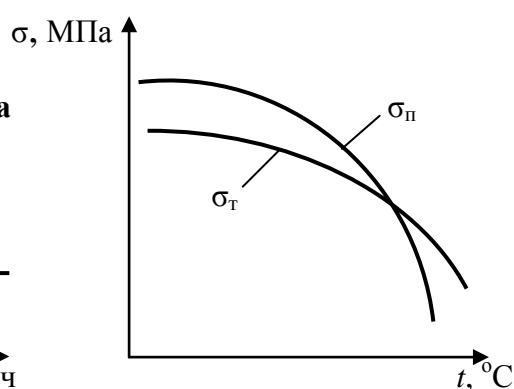


Рис. 1.7. Влияние температуры на пределы текучести и ползучести

*I* – участок начальной ползучести, которая появляется непосредственно за упругой деформацией образца;

*II* – участок с постоянной скоростью ползучести;

*III* – участок нарастающей скорости ползучести до момента разрыва образца в точке **а**.

Предел ползучести с ростом температуры снижается быстрее, чем предел текучести (рис. 1.7). Поэтому при расчетах, начиная с некоторого значения температуры, необходимо учитывать не только предел текучести, но и предел ползучести. Для конструкционных сталей обыкновенного качества и качественных, явление ползучести необходимо учитывать при температуре выше  $380$  °C, для легированных сталей – выше  $420$  °C, для высоколегированных хромоникелевых сталей – выше  $525$  °C. В тех случаях, когда общая деформация ползучести незначительна, но узлы или детали работают под нагрузкой при высокой температуре, критерием напряженного состояния служит предел длительной прочности  $\sigma_d$ , характеризующий нагрузку, под действием которой происходит разрушение узла (детали) за определенный промежуток времени при данной температуре.

При отрицательных температурах, а иногда и при невысокой положительной температуре металлы проявляют хладоломкость, которая характеризуется низкой величиной ударной вязкости  $a_n$ . На рис. 1.8 показано изменение величины ударной вязкости в зависимости от температуры для конструкционной стали обыкновенного качества марки Ст1 (кривая 1) и легированной стали марки Х9М (кривая 2).

В интервале низких температур от 0 до минус 30 °С у углеродистых сталей наблюдается хрупкий излом, а выше 20 °С – вязкий излом. Промежуточный интервал (обозначен пунктиром) характеризуется неопределенностью изменения ударной вязкости (зона рассеяния свойств).

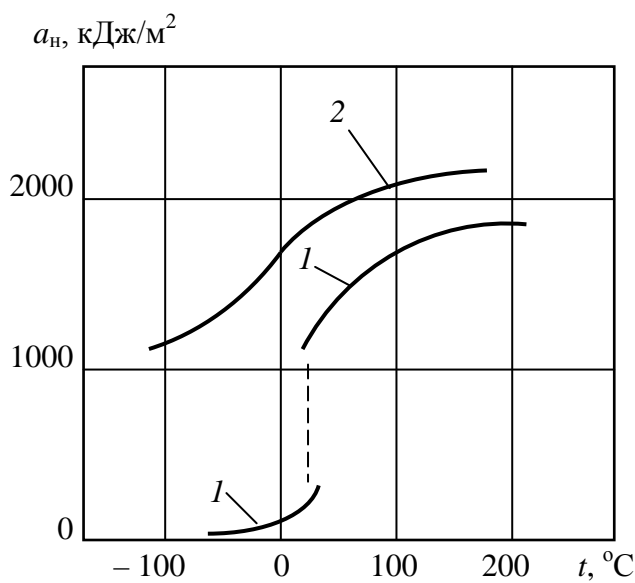


Рис. 1.8. Влияние температуры на ударную вязкость сталей

Для легированных сталей характерно сохранение высокого показателя ударной вязкости даже при температурах ниже минус 70 °С. Цветные металлы не подвержены хладоломкости и могут использоваться при очень низких температурах (до минус 250 °С).

#### 1.4. ПОВЕДЕНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В АГРЕССИВНЫХ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ СРЕДАХ

В процессе эксплуатации производственное оборудование подвержено агрессивному воздействию перерабатываемой технологической среды, а также окружающей среды. Взаимодействие материала оборудования со средой называется коррозией. В результате протекания самопроизвольного разрушения материала, вызванного коррозией, толщина стенок аппаратов и трубопроводов уменьшается. Одновременно изменяются механические свойства металлов: падает прочность и износостойкость, хладо- и красноломкость растет и увеличивается хрупкость. Качество хранимых или перерабатываемых в аппаратах продуктов ухудшается, т.к. они загрязняются продуктами коррозии. Некоторые продукты коррозии являются пирофорными соединениями.

Коррозии подвержены все конструкционные материалы: металлы, полимерные материалы, силикаты и другие материалы. Почти треть произво-

димого в мире металла разрушается коррозией, причем десятая его часть теряется безвозвратно. Около 70 % аварий и повреждений оборудования происходит по этой причине. Коррозия оборудования с пожаровзрывоопасными средами часто становится причиной аварий, пожаров и взрывов на технологических установках. В возникновении этих видов опасностей всегда присутствует фактор неожиданности, так как уменьшение толщины стенок оборудования и, тем более, изменение механических свойств материалов в результате коррозии трудно поддается контролю и протекает наиболее интенсивно в недоступных для осмотра местах. Практически многие виды коррозии обнаруживаются только в момент аварийного разрушения конструкции, образования сквозных поражений стенок аппаратов и трубопроводов.

Классификация коррозионных воздействий среды на оборудование осуществляется по многим признакам, основными из которых являются характер коррозионных разрушений и механизм коррозии. Характерные коррозионные разрушения металлов, встречающиеся на практике, и относительные частоты их появления приведены на рис. 1.9.

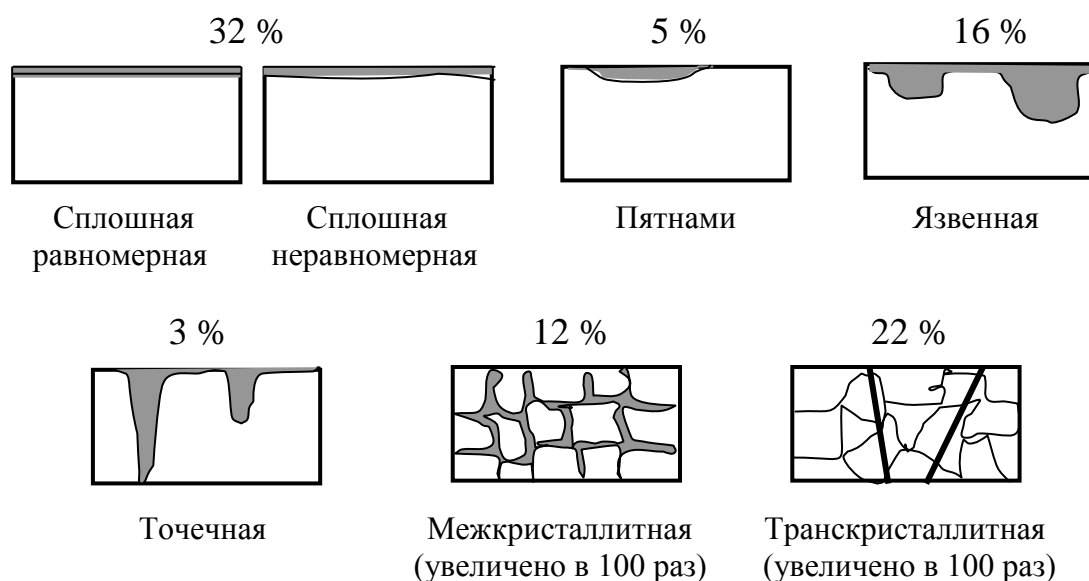


Рис. 1.9. Виды коррозионных разрушений металлов (в остальных 10 % случаев коррозионных разрушений имели место щелевая коррозия, коррозионное растрескивание и коррозионная усталость, коррозия под напряжением и другие виды коррозии)

Коррозионная стойкость металлов делится на шесть групп стойкости и оценивается по десятибалльной шкале:

- совершенно стойкие (1 балл) – скорость коррозии не превышает 0,001 мм/год;

- весьма стойкие (2–3 балла) – скорость коррозии не превышает 0,01 мм/год;
- стойкие (4–5 баллов) – скорость коррозии не превышает 0,1 мм/год;
- понижено стойкие, малостойкие и нестойкие (6–10 баллов) – скорость коррозии от 0,1 до 10 мм/год и более.

Для изготовления оборудования с пожаровзрывоопасными средами рекомендуются металлы, обладающие 1–5 баллами стойкости, скорость коррозии которых в технологических средах не превышает 0,1 мм/год.

Под скоростью коррозии металлов  $\Pi$  понимают проникновение коррозии в глубину металла. Скорость коррозии рассчитывается из опытных данных потери массы металла после удаления продуктов коррозии. Расчет скорости коррозии производится по формуле

$$\Pi = \frac{K}{\rho} , \quad (1.4)$$

где  $K$  – потеря массы, кг/(м<sup>2</sup>·год);  $\rho$  – плотность металла, кг/м<sup>3</sup>.

Скорость коррозии металлов учитывается в процессе проектирования при расчете аппаратов на прочность, а в процессе эксплуатации – для оценки степени коррозионного износа оборудования. Для компенсации потерь от коррозии предусматривают увеличение толщины стенок оборудования на величину

$$C = \Pi \tau , \quad (1.5)$$

где  $\tau$  – срок службы оборудования, годы.

При проведении проверочных расчетов оборудования на прочность, а также при анализе возможных причин его разрушения напряжения определяют с учетом фактического износа материала от коррозии, измеряя толщину стенок оборудования в местах наиболее подвергшихся коррозионному разрушению. Толщину стенки аппарата в месте коррозионного поражения через определенный период эксплуатации можно оценить по формуле

$$S_{\phi} = S_{\text{ап}} - C , \quad (1.6)$$

где  $S_{\phi}$  – фактическая (действительная) толщина стенки аппарата;  $S_{\text{ап}}$  – толщина стенки нового аппарата (первоначальная толщина), принимаемая по паспорту, сертификату или иному документу.

В зависимости от механизма взаимодействия металла с коррозионной средой различают химическую и электрохимическую коррозию.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. Цель, задачи, предмет курса «Пожарная безопасность технологических процессов», его роль и место в системе подготовки инженеров пожарной безопасности в Академии ГПС МВД России .....	3
2. Краткий очерк развития знаний о технологии производств и пожарной безопасности технологических процессов .....	4
3. Взаимосвязь и взаимообусловленность проблем технологии, пожарной безопасности и охраны окружающей среды .....	6
4. Статистика пожаров – источник информации для анализа причин возникновения и методов предотвращения пожаров на промышленных предприятиях .....	9
5. Нормативные документы по пожарной безопасности технологических процессов .....	13
Контрольные вопросы .....	14
Литература .....	16
Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ С ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫМИ СРЕДАМИ .....	17
1.1. Классификация технологического оборудования .....	17
1.2. Материалы, применяемые для изготовления технологического оборудования с пожаровзрывоопасными средами .....	18
1.2.1. Стали конструкционные обыкновенного качества .....	20
1.2.2. Стали конструкционные качественные .....	20
1.2.3. Стали конструкционные низколегированные .....	20
1.2.4. Стали конструкционные легированные .....	21
1.2.5. Стали конструкционные высоколегированные .....	21
1.2.6. Конструкционные чугуны и цветные металлы .....	22
1.3. Поведение конструкционных материалов при повышенных и пониженных температурах и давлениях .....	23
1.4. Поведение конструкционных материалов в агрессивных пожаровзрывоопасных средах .....	28
1.4.1. Химическая коррозия и ее разновидности .....	31
1.4.2. Электрохимическая коррозия и ее разновидности .....	32
1.4.3. Влияние технологических параметров на скорость коррозии .....	36
1.5. Основные требования к конструкции аппаратов и машин .....	40
1.6. Элементы проверочных расчетов технологического оборудования на прочность .....	41
1.7. Испытания оборудования на прочность и герметичность .....	46
Контрольные вопросы .....	47
Литература .....	49
Глава 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕХНОЛОГИИ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ .....	50
2.1. Технологические термины и определения .....	50
2.2. Основные виды технологических расчетов .....	54
2.3. Физико-химические закономерности в технологии .....	57
2.4. Технологическая схема процесса и ее описание .....	60



2.5. Технологические параметры и их влияние на взрывопожарную опасность процессов .....	62
Контрольные вопросы .....	67
Литература.....	68
Глава 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ.....	70
3.1. Классификация технологических процессов пожаровзрывоопасных производств.....	70
3.2. Машины для проведения механических процессов.....	71
3.2.1. Машины для измельчения твердых материалов.....	71
3.2.2. Машины для разделения твердых материалов .....	77
3.2.3. Механические питатели .....	79
Контрольные вопросы .....	80
Литература.....	81
Глава 4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ.....	82
4.1. Аппараты для перемешивания жидкостей и твердых материалов .....	82
4.2. Аппараты для проведения процессов отстаивания жидкостей и газов.....	84
4.3. Аппараты для проведения процессов фильтрования жидкостей и газов.....	91
4.4. Оборудование для перемещения и хранения горючих веществ и материалов .....	95
4.4.1. Оборудование для перемещения и хранения газов.....	96
4.4.2. Оборудование для перемещения и хранения жидкостей.....	102
4.4.3. Оборудование для перемещения и хранения твердых материалов .....	106
4.5. Трубопроводы, арматура, компенсаторы .....	109
4.5.1. Технологические трубопроводы .....	109
4.5.2. Трубопроводная арматура .....	113
4.5.3. Температурные компенсаторы .....	129
Контрольные вопросы .....	132
Литература.....	135
Глава 5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ .....	137
5.1. Способы нагрева и охлаждения горючих веществ и материалов.....	137
5.2. Сущность процессов нагрева и охлаждения .....	138
5.2.1. Тепловой баланс теплообменного аппарата .....	138
5.2.2. Передача тепла в теплообменном аппарате .....	139
5.2.3. Температурный напор .....	146
5.3. Характеристика тепло- и хладоносителей.....	148
5.4. Классификация систем для нагрева и охлаждения горючих веществ и материалов и теплообменного оборудования .....	153
5.5. Оборудование для нагрева горячей водой, водяным паром, высокотемпературными теплоносителями и горячими продуктами производства.....	156
5.6. Оборудование для охлаждения водой и атмосферным воздухом.....	161
5.7. Оборудование для нагрева горючих веществ пламенем и топочными газами.....	163

5.8. Нагревание горючих веществ электроэнергией .....	169
Контрольные вопросы .....	172
Литература.....	174
Глава 6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ДИФфуЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ .....	175
6.1. Общие сведения о диффузионных процессах.....	175
6.1.1. Виды массообменных процессов .....	175
6.1.2. Способы выражения состава фаз двухкомпонентных систем .....	178
6.1.3. Материальный баланс процессов массообмена.....	179
6.1.4. Уравнение массопередачи .....	181
6.2. Аппараты для проведения сорбционных процессов .....	182
6.2.1. Виды сорбционных процессов .....	182
6.2.2. Аппараты для проведения процессов адсорбции .....	183
6.2.3. Аппараты для проведения процессов абсорбции .....	193
6.3. Аппараты для проведения процессов перегонки и ректификации смесей жидкостей.....	202
6.3.1. Сущность процессов перегонки и ректификации .....	202
6.3.2. Простая перегонка растворов .....	206
6.3.3. Перегонка с дефлегмацией пара.....	208
6.3.4. Простая ректификация .....	209
6.3.5. Основные типы ректификационных колонн.....	213
6.3.6. Тарелки ректификационных колонн.....	221
6.4. Аппараты для поведения процессов сушки .....	223
6.4.1. Виды влаги в материале и способы ее удаления .....	223
6.4.2. Понятие о влажности материала и влагосодержании .....	224
6.4.3. Тепловая сушка горючих веществ и материалов .....	226
6.4.4. Кинетика процесса сушки.....	227
6.4.5. Основные типы сушилок .....	231
Контрольные вопросы .....	244
Литература.....	248
Глава 7. АППАРАТЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ.....	249
7.1. Классификация химических реакторов .....	249
7.2. Технологические печи для проведения высокотемпературных химических процессов .....	253
7.3. Основные типы химических реакторов.....	255
7.3.1. Реакторы для проведения процессов в гомогенной газовой среде.....	256
7.3.2. Реакторы для проведения процессов в гомогенной жидкой среде.....	258
7.3.3. Реакторы для проведения процессов в гетерогенной системе газ– твердый катализатор .....	259
7.3.4. Реакторы для проведения процессов в системе газ–жидкость .....	263
7.3.5. Реакторы для проведения процессов в системе жидкость–твердый катализатор .....	264
7.3.6. Реакторы для проведения процессов в системе жидкость–жидкость .	265
7.3.7. Реакторы для проведения процессов в системе газ–жидкость–твердый катализатор .....	265
Контрольные вопросы .....	266

Литература.....	267
Глава 8. МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ .....	268
8.1. Источники информации о производственном процессе.....	268
8.1.1. Технологическая часть проекта.....	268
8.1.2. Технологический (производственный) регламент .....	269
8.2. Разработка принципиальной схемы технологического процесса.....	270
8.3. Размещение технологического оборудования .....	279
8.4. Изучение технологии сложного производства по типовым технологическим процессам .....	285
Контрольные вопросы .....	288
Литература.....	289

Горячев Станислав Анатольевич  
Обухов Александр Иванович  
Рубцов Владимир Валентинович  
Швырков Сергей Александрович

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ, ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ  
ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Учебное пособие

Редактор Г.А. Науменко  
Технический редактор Н.В. Федькова  
Компьютерная верстка Р.П. Горностаев  
Компьютерная верстка П.С. Козьминых

Подписано в печать 19.06.2003 г.

Бумага офсетная

Тираж 1000 экз.

Печ. л. 18,5.

Цена договорная

Формат 60×84 1/16

Уч.-изд. л. 14,65

Заказ 451

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