

Министерство Российской Федерации  
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям  
и ликвидации последствий стихийных бедствий

Академия Государственной противопожарной службы

# ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Учебник для бакалавров

Под общей редакцией  
кандидата технических наук, доцента  
*С. А. Горячева*

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

Москва

2014

УДК 614.8(075.8)

ББК 38.96

П46

Авторы:

С. А. Горячев, С. А. Швырков, А. П. Петров, В. С. Клубань,  
В. В. Воробьев, С. В. Батманов, Л. Т. Панасевич, С. В. Молчанов

Рецензенты:

*А. А. Бондарев*, начальник нормативно-технического отдела  
Департамента надзорной деятельности МЧС России

*Э. П. Пышкина*, профессор кафедры экологии и промышленной безопасности  
МГТУ им. Н. Э. Баумана, кандидат технических наук

*М. Д. Маслаков*, профессор кафедры ПБТПИП  
Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России,  
доктор технических наук, профессор

**Пожарная безопасность технологических процессов:** учебник  
П46 для бакалавров / С. А. Горячев, С. А. Швырков, А. П. Петров и др. ;  
под общ. ред. С. А. Горячева. – М. : Академия ГПС МЧС России,  
2014. – 315 с.

ISBN 978-5-9229-0073-7

В учебнике приведены основные сведения о технологии и оборудовании пожаро-взрывоопасных производств, подробно рассмотрена методика анализа пожарной опасности и защиты технологического оборудования, проанализирована пожарная опасность типовых технологических процессов и даны способы обеспечения их пожарной безопасности, а также приведены сведения по оценке соответствия технологического оборудования пожаровзрывоопасных производств требованиям пожарной безопасности.

Предназначен для курсантов и слушателей высших образовательных учреждений пожарно-технического профиля МЧС России и студентов вузов, выпускающих бакалавров техники и технологии по направлению 280700 «Техносферная безопасность» (профиль «Пожарная безопасность»), а также для инженерно-технических работников и специалистов.

Введение, гл. 1–5, 8, 11, 14 и 17 написаны канд. техн. наук С. А. Горячевым; гл. 6 – канд. техн. наук С. А. Швырковым и С. А. Горячевым; гл. 7, 10 – С. А. Швырковым; гл. 9 – С. А. Горячевым и инж. Л. Т. Панасевич; гл. 12 и 13 – докт. техн. наук А. П. Петровым; гл. 15 и 16 – канд. техн. наук В. С. Клубанем и С. А. Горячевым; гл. 18 – С. А. Швырковым и инж. С. В. Молчановым; гл. 19 – Л. Т. Панасевич; гл. 20 – канд. техн. наук В. В. Воробьевым; гл. 21, 22 – С. А. Швырковым и канд. техн. наук С. В. Батмановым.

УДК 614.8(075.8)  
ББК 38.96



© Академия Государственной противопожарной  
службы МЧС России, 2014

---

---

## ВВЕДЕНИЕ

Изменение политической системы и экономических отношений в России, расширение внешнеэкономических связей привело к необходимости реформирования отечественного законодательства в области нормирования, стандартизации, государственного надзора и подтверждения ответственности, что было осуществлено вступившим в действие Федеральным законом Российской Федерации от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании».

Серьезные изменения произошли и в системе высшего образования после присоединения России в сентябре 2003 г. к Болонскому процессу и введения двухциклового обучения. С 2011 г. квалификации бакалавра и магистра стали основными квалификациями для выпускников российских вузов. При успешном окончании первого цикла получения завершено высшего образования в Академии ГПС МЧС России присваивается академическая степень «бакалавр техники и технологии» по направлению 280700 «Техносферная безопасность» (профиль «Пожарная безопасность»).

За последние годы на кафедре пожарной безопасности технологических процессов профессорско-преподавательским составом был проведен комплекс работ, направленных на создание учебно-методической литературы по данному направлению, одним из результатов которых было написание настоящего учебника в соответствии с рабочей программой дисциплины, утвержденной в 2011 г.

Учебник состоит из четырех разделов. В первом разделе **«Технология и оборудование пожаровзрывоопасных производств»** приводятся основы технологии пожаровзрывоопасных производств, общие сведения о технологическом оборудовании пожаровзрывоопасных производств, источники информации о технологии производств и размещении горючих веществ и материалов.

Во втором разделе учебника **«Анализ пожарной опасности и защиты технологического оборудования с пожаровзрывоопасными средами»** рассматриваются такие вопросы, как: оценка пожаровзрывоопасности среды внутри аппаратов и в зоне выхода горючих веществ из нормально работающего технологического оборудования, причины его повреждения и оценка пожаровзрывоопасности среды в зоне выхода горючих веществ из поврежденного оборудования, производственные источники зажигания и пути распространения пожара.

Третий раздел **«Пожарная опасность и способы обеспечения пожарной безопасности типовых технологических процессов»** посвящен вопросам пожарной профилактики процессов транспортировки и хранения

горючих веществ и материалов, механической обработки и переработки твердых горючих веществ и материалов, нагрева, ректификации, сорбции, окраски и сушки горючих веществ и материалов, а также химических процессов, изучение которых основано на проведении анализа пожарной опасности и защиты технологического оборудования пожаровзрывоопасных производств.

В четвертом разделе учебника *«Оценка соответствия технологического оборудования пожаровзрывоопасных производств требованиям пожарной безопасности»* приводится система нормативно-правовых актов и нормативных документов по обеспечению пожарной безопасности технологических процессов, излагаются методы определения категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности, а также рассматриваются вопросы оценки соответствия технологического оборудования проектируемых и действующих пожаровзрывоопасных производств требованиям пожарной безопасности.

При разработке второго раздела учебника в основу положены труды основателя кафедры ПБТП доц. М. В. Алексева.

---

---

# Раздел I

## ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

### Глава 1

#### ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

##### 1.1. Положения Федеральных законов РФ по обеспечению 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, производственных помещений, зданий и сооружений.

Вступивший в действие Федеральный закон Российской Федерации от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» в корне изменил техническую политику в стране в области нормирования и создал новую конструкцию, в которой обязательными для всех отраслей, видов деятельности или продукции будут требования безопасности.

В развитие основных положений этого закона был разработан и вступил в действие 22 июля 2008 г. Федеральный Закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», понятийный аппарат которого позволяет охарактеризовать обеспечение пожарной безопасности технологических процессов как свойство технологии и оборудования сохранять безопасное состояние при выполнении заданных функций и параметров.

Данная задача является сложной и многоцелевой. Для ее решения необходимо не только опираться на фундаментальные знания, но и знать особенности пожарной опасности технологических процессов современных производств, в совершенстве владеть методами анализа пожарной опасности технологических процессов.

Пожарная безопасность технологических процессов как научная дисциплина, сложившаяся на стыке наук о технологии и пожаре, тесно связана с фундаментальными науками и специальными дисциплинами в области ПБ, что нашло отражение в данном учебнике.

## 1.2. Основные виды технологических расчетов

Для того чтобы быстро и достаточно глубоко вникнуть в вопросы технологии, необходимо, прежде всего, владеть терминологией этой науки и понимать ее смысловое значение.

*Процессом производства* называют совокупность всех стадий и операций, которые проходит сырье до получения из него готового продукта.

*Сырье* – природные вещества и материалы, используемые в производственном процессе. Сырье является одним из основных элементов технологического процесса, определяющих технологию производства, его аппаратное оформление, качество готовой продукции, экономику, а также взрывопожарную опасность. Сырье бывает минеральным, животным или растительным. В качестве сырья часто используют продукцию других производств (полуфабрикаты) или побочные продукты и отходы.

*Производительностью цеха* (установки или аппарата) называют количество фактически выработанного продукта (или переработанного сырья) в единицу времени. Максимально возможная производительность при оптимальных условиях проведения процесса называется *мощностью*.

*Интенсивность* работы аппарата – отношение производительности к одной из основных характеристик аппарата (поверхности теплообмена, объему катализатора и т. д.).

По способу организации производства технологические процессы подразделяются на периодические, непрерывные и комбинированные.

*Периодический процесс* характеризуется единством места проведения различных стадий (все стадии осуществляются в одном месте) при изменении во времени его технологических параметров, в том числе периодичностью подвода сырья и отвода продуктов.

*Непрерывный процесс* характеризуется единством времени протекания всех стадий, каждая из которых осуществляется в специальном аппарате, установившемся режимом, не зависящим от времени, и непрерывным подводом сырья и отводом получающихся продуктов. Преимущества непрерывных процессов по сравнению с периодическими:

- возможность полной автоматизации и механизации процесса и, в связи с этим, снижение числа и тяжести аварий за счет большей устойчивости и равномерности течения процесса, постоянства режима;

- уменьшение объема аппаратуры и, следовательно, горючей нагрузки на производственных площадях и участках;

- отсутствие перерывов в работе и необходимости разгерметизации оборудования на загрузку сырья и выгрузку продукции, что уменьшает возможность образования взрывоопасных концентраций (ВОК) внутри аппаратов и в производственных помещениях;

- однородность получаемых продуктов и постоянство их качества;

- снижение численности обслуживающего персонала и, следовательно, уменьшение риска гибели людей при взрыве или пожаре на производстве.

При проектировании технологических объектов стремятся переходить от периодических к непрерывным производственным процессам, которые при прочих равных условиях являются менее взрывопожароопасными.

Для проведения любого технологического процесса необходимы вещества и материалы, подвергающиеся обработке, энергия, оборудование, при помощи которого реализуются процессы, и трудовые затраты. Технологические расчеты выполняются на основании материальных и энергетических балансов и проводятся в целях обоснования рабочих параметров процесса, определения расхода сырья и выхода готовых продуктов, реакционных объемов и производительности аппаратов.

*Материальные и энергетические балансы* составляются для количественной оценки всех участвующих в процессе потоков веществ (энергии) с учетом потерь этих веществ (энергии). Материальные балансы основаны на законе сохранения массы, энергетические – на законе сохранения энергии. Материальные (энергетические) балансы можно составлять для неустановившихся и установившихся процессов. Для неустановившегося процесса разность между приходными и расходными статьями баланса составляет накопление или убыль веществ (энергии) в системе. Отсутствие разбаланса показывает, что процесс является установившимся. Энергетические балансы часто называют тепловыми, так как основным видом энергии на производстве является тепловая энергия.

В общем виде для неустановившегося процесса уравнения материального и энергетического балансов записывают следующим образом:

$$\Sigma G_{in} - \Sigma G_{ip} = \pm \Delta G \quad \text{и} \quad \Sigma Q_{in} - \Sigma Q_{ip} = \pm \Delta Q, \quad (1.1)$$

а для установившегося процесса:

$$\Sigma G_{in} = \Sigma G_{ip} \quad \text{и} \quad \Sigma Q_{in} = \Sigma Q_{ip}, \quad (1.2)$$

где  $\Sigma G_{in}$  и  $\Sigma G_{ip}$  – количество  $i$ -тых веществ, поступающих на переработку (приход), и количество  $i$ -тых веществ, получающихся в результате переработки (расход);  $\Sigma Q_{in}$  и  $\Sigma Q_{ip}$  – соответственно приходные и расходные статьи теплового баланса;  $\Delta G$  и  $\Delta Q$  – убыль (–) или накопление (+) соответственно вещества или энергии в аппарате.

Материальные балансы можно составлять не только относительно веществ, но и относительно какого-либо компонента или элемента. Балансы составляют в виде уравнений, таблиц, схем или диаграмм для процессов в целом, отдельных его стадий или для конкретного оборудования. В табл. 1.1 приведен материальный баланс установки гидроочистки бензина мощностью 300 тыс. т в год (по сырью), из которой видно, что потери веществ при нормальном режиме работы оборудования составляют 0,8 %, что соответствует более чем 7 т горючих веществ в сутки. Эти потери складываются из утечек через предохранительные клапаны, сальники насосов, прокладки фланцевых соединений и другие места.

Таблица 1.1

**Материальный баланс процесса гидроочистки бензина**

Приход			Расход		
Обозначение	Наименование	%	Обозначение	Наименование	%
$G_6$	Сырье (прямогонный бензин)	99,01	$G_7$	Гидроочищенный бензин	96,53
$G_в$	Водород	0,99	$G_y$	Углеводородный газ	1,58
			$G_c$	Сероводород	1,09
			$G_{п}$	Потери	0,80
Всего:		100,0	Всего:		100,0

Нефтеперерабатывающие установки размещаются на открытых площадках, достигающих десятков и сотен метров в длину и ширину (площадь современной нефтеперерабатывающей установки составляет несколько гектаров). Благодаря этому даже такие большие утечки паров нефтепродуктов, происходящие к тому же равномерно в течение суток и рассредоточенные в пространстве, не приводят к образованию зон ВОК на всей территории установок. Однако выход из аппаратов наружу экологически вредных веществ оказывает пагубное влияние на окружающую среду.

В отдельных случаях выход веществ наружу даже из нормально работающего оборудования все же приводит к опасной загазованности территории наружных установок. Например, при использовании в технологических процессах для хранения пожароопасных жидкостей емкостных аппаратов (резервуаров, расходных баков, мерников, цистерн и подобных аппаратов), оборудованных дыхательными патрубками. Заполнение таких аппаратов легковоспламеняющимися жидкостями (ЛВЖ) часто сопровождается мощными выбросами паровоздушных смесей через дыхательные патрубки наружу с образованием зон ВОК значительных размеров.

### 1.3. Закономерности в технологии

Технология как наука базируется на химических, физико-химических и физических закономерностях. *Химические уравнения* используются для проведения стехиометрических и термодинамических расчетов. *Термодинамические расчеты* показывают направление протекания процесса при конкретных технологических параметрах, позволяют определить его тепловой эффект, равновесную степень превращения исходного сырья в готовую продукцию. *Кинетические закономерности* отражают течение процесса во времени. Их используют для оптимизации технологических процессов и исследования их взрывопожарной опасности, выбора рациональных конструктивных и технологических решений. Рассмотрим основные физико-химические закономерности, протекающие в наиболее сложных (химико-технологических) процессах.



Химический технологический процесс складывается из целого ряда физических и химических явлений, которые определяют подвод реагирующих компонентов в зону реакции, непосредственное протекание химических реакций и отвод полученных продуктов из зоны реакции.

Химико-технологические процессы делятся на *необратимые* и *обратимые*. Необратимые процессы протекают лишь в одном направлении. Все обратимые процессы стремятся к равновесию, при котором скорости прямого и обратного процессов уравниваются. Равновесное состояние системы остается неизменным до тех пор, пока не изменятся условия протекания процесса.

Направление изменений в реакционной системе определяется принципом Ле Шателье – Брауна, выражающим второе начало термодинамики. Согласно этому принципу, в системе, выведенной из состояния равновесия, самопроизвольно происходят изменения, направленные к ослаблению воздействий, выводящих систему из равновесия. Равновесное состояние в системе достигается обычно по истечении довольно значительного промежутка времени.

Эффективность химико-технологического процесса характеризуется *выходом готового продукта*, под которым понимают отношение количества фактически полученного продукта  $G_{\phi}$  к теоретически возможному  $G_{\tau}$ :

$$X = G_{\phi} / G_{\tau}. \quad (1.3)$$

Применительно к химическим реакциям теоретически возможное количество продукта  $G_{\tau}$  определяется по стехиометрическим соотношениям, а выход продукта в этом случае называется *степенью превращения* основного исходного вещества в готовый продукт.

Если вместо  $G_{\phi}$  в формулу (1.3) подставить количество продукта, которое получается при установлении равновесия в системе  $G_p$ , то выход продукта (или степень превращения сырья в готовый продукт), называемый *равновесным выходом*  $X_p$ , составит:

$$X_p = G_p / G_{\tau}. \quad (1.4)$$

Для необратимых процессов  $X_p = 1$ , для обратимых –  $X_p$  всегда меньше 1, поскольку равновесие наступает при неполном превращении реагирующих компонентов в продукты реакции. Так как реальные химико-технологические процессы, проводимые в производственных условиях, должны протекать с определенной и желательно значительной скоростью, которая определяет производительность аппаратов и их количество в технологической схеме, то их завершают до наступления равновесного состояния. В этом случае процессы характеризуются *фактическим выходом*  $X_{\phi}$ , под которым понимают отношение фактически полученного продукта  $G_{\phi}$  к равновесному  $G_p$ :

$$X_{\phi} = \frac{G_{\phi}}{G_p} = \frac{G_{\phi}}{X_p G_{\tau}}. \quad (1.5)$$

Выход продукта определяется на основании практических данных и используется для сравнительной оценки одинаковых производств, осуществляемых по разным технологическим схемам или на различных предприятиях. Чем больше выход продукта, тем эффективнее производство. При одинаковой производительности по готовому продукту на производстве с бóльшим выходом продукта меньше расход сырья и вспомогательных материалов, в том числе и пожаровзрывоопасных.

Рассмотрим процесс синтеза аммиака, в основе которого лежит гомогенная обратимая экзотермическая каталитическая реакция, протекающая с уменьшением объема системы:



В соответствии с принципом Ле Шателье для сдвига равновесия вправо, т. е. для повышения равновесного выхода аммиака, необходимо снижать температуру, повышать давление, а также уменьшать концентрацию аммиака или повышать концентрацию исходных веществ: азота и водорода (рис. 1.1 и 1.2). Так, термодинамические расчеты показывают, что для обеспечения даже 80 % степени превращения азота и водорода в аммиак при 400 °С необходимо применять давление около 100 МПа. Экспериментально установлено, что фактический выход аммиака с ростом давления увеличивается значительно медленнее, чем равновесный (рис. 1.2). Поэтому применять очень высокие давления (выше 80–100 МПа) в этом процессе экономически невыгодно. В тоже время выход аммиака увеличивается при снижении температуры, но скорость процесса при этом падает.

Образование аммиака при умеренных температурах (300–500 °С) происходит крайне медленно (скорость процесса близка к нулю). На практике процесс ведут при 400–500 °С в присутствии катализаторов, которые позволяют значительно уменьшить время достижения равновесия.

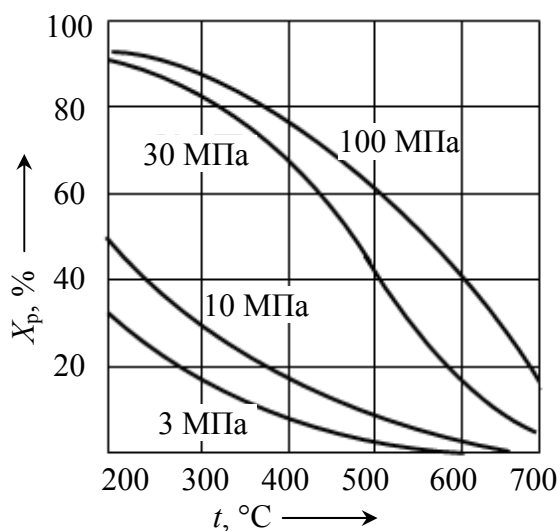


Рис. 1.1. Влияние температуры и давления на равновесный выход аммиака

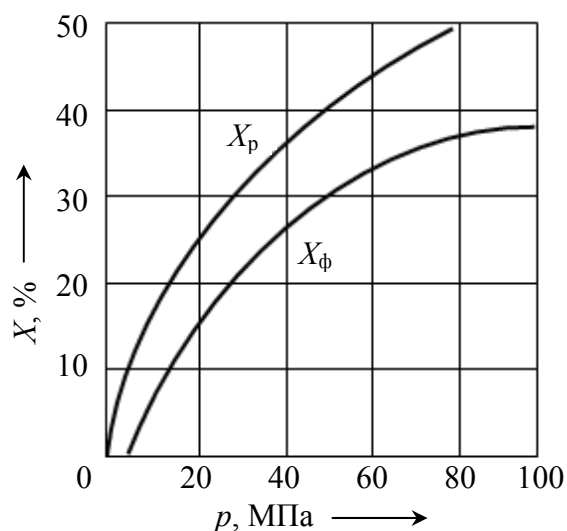


Рис. 1.2. Зависимость фактического выхода аммиака от давления (катализатор – железо; объемная скорость 30 000 ч<sup>-1</sup>;  $t = 500$  °С)

#### 1.4. Технологические параметры и их влияние на взрывопожарную опасность процессов

Все технологические процессы протекают при определенных значениях температур, давлений, концентраций, расходов и других факторов, характеризующих технологический режим. Основные факторы, влияющие на скорость процесса, выход и качество продукции, называются *технологическими параметрами*. Технологические параметры влияют на скорость процессов, их технико-экономические показатели, на конструктивное устройство аппаратов, а также на пожаровзрывоопасность производств. Такие технологические параметры, как температура, давление, концентрация реагирующих веществ, в соответствии с принципом Ле Шателье, влияют на равновесное состояние системы, в которой протекают обратимые химические реакции, что позволяет подбирать соответствующие условия проведения процесса для обеспечения максимальной степени превращения.

*Повышение температуры* процесса влияет на состояние равновесия системы и увеличивает скорость химических реакций. Поэтому регулирование температурного режима оказывает универсальное воздействие на процесс в целях повышения его производительности. Наиболее сильно интенсифицируются при повышении температуры эндотермические обратимые реакции, так как ускоряется и химическая реакция и, в соответствии с принципом Ле Шателье, растет равновесный выход продукта.

Зависимость скорости реакции от температуры характеризуется температурным коэффициентом скорости реакции  $\beta$ , который показывает во сколько раз увеличивается скорость реакции при увеличении температуры на 10 градусов. Согласно правилу Вант-Гоффа, температурный коэффициент  $\beta$  большинства химических реакций (в области средних температур и энергий активации) равен 2–4.

Константу скорости реакции  $K_i$  при любой температуре  $T_i$  можно определить по уравнению Аррениуса:

$$K_i = K_0 \exp(-E / R_{\mu} T_i), \quad (1.6)$$

где  $K_0$  – предэкспоненциальный множитель;  $E$  – энергия активации реакции;  $R_{\mu}$  – универсальная газовая постоянная;  $R_{\mu} = 8,314$  Дж/(моль·К).

$$\text{По определению находим } \beta = K_2 / K_1 = \exp\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_1 + 10}\right) \frac{E}{8,314}. \quad (1.7)$$

Энергии активации многих химических реакций лежат в пределах  $(0,5-2,0) \cdot 10^5$  Дж/моль. Примем  $E = 1,0 \cdot 10^5$  Дж/моль,  $T_1 = 400$  К,  $T_2 = 410$  К (считаем, что температура возросла на 10 градусов). Тогда

$$\beta = \exp\left[\left(\frac{1}{400} - \frac{1}{410}\right) \cdot \frac{100\,000}{8,314}\right] \approx 2,1.$$

Нетрудно подсчитать, что при повышении температуры на 100 К (от  $T_1 = 400$  К до  $T_2 = 500$  К) скорость реакций возрастает в сотни раз (в данном случае  $\beta = 409,1$ ). При этом может произойти настолько бурный процесс реагирования технологической среды, что он завершится взрывом. Это обстоятельство необходимо учитывать при тушении пожара на производстве, когда в зоне теплового воздействия очага пожара оказываются реакторы или другие аппараты с веществами, склонными при нагревании к взрывному распаду или взаимодействующими друг с другом со взрывом.

Повышение температуры в производственных условиях ограничено целым рядом технических, технологических и экономических факторов. К ним относятся: недостаточная термическая устойчивость (низкие жаропрочность и жаростойкость) конструкционных материалов, снижение равновесного и фактического выхода продуктов при протекании экзотермических процессов, термическая неустойчивость сырья и готовой продукции, большие затраты на создание высоких температур, повышенная взрывопожарная опасность и ряд других менее важных факторов.

Так, пластмассы начинают деформироваться при температурах ниже 250 °С, обычные конструкционные стали – при 400 °С, высоколегированные стали устойчивы до 700 °С, а специальные сплавы с высоким содержанием никеля, хрома и с добавками других элементов выдерживают повышенные давления при температурах до 800–900 °С. Металлокерамические сплавы (керметы) способны выдерживать температуры до 3 000 °С, но без повышенной нагрузки. Для защиты металлических стенок аппаратов от действия высоких температур применяются огнеупорные неметаллические материалы (динас, шамот, графит и др.), которыми футеруют (защищают изнутри) аппараты. В этом случае температуру процессов удастся повысить до 1500–2000 °С, а иногда и до 3000 °С и выше. При этом необходимо учитывать, что металлические корпуса таких аппаратов часто охлаждаются водой (имеют водяные рубашки). Любое повреждение футеровки приводит к быстрому прогару металлической стенки, бурному, со взрывом, вскипанию воды, разрушению аппарата, цеха, гибели людей.

*Повышение давления* в процессах, протекающих с уменьшением газового объема, согласно принципу Ле Шателье, приводит к увеличению выхода продукта (см. рис. 1.1). Скорость газовых реакций с повышением давления растет, так как при этом увеличивается плотность реакционной смеси и, следовательно, увеличиваются массовые концентрации компонентов, а также уменьшается объем газовой смеси, в результате чего снижаются размеры аппаратов и сечения газопроводов, но увеличиваются толщины стенок оборудования, испытывающих более высокие нагрузки. На повышение равновесного выхода каталитических процессов, протекающих со значительным увеличением газового объема, благотворно влияет понижение давления. Поэтому некоторые процессы (дегидрирования, дегидратации и др.) ведут под вакуумом.

*Объемная скорость* (объемный расход исходной смеси, отнесенный к единице объема реакционной зоны) влияет как на выход продукта, так и на производительность реактора. Так как объемная скорость представляет собой величину обратную времени пребывания реакционной смеси в зоне реакции, то ее увеличение приводит к снижению выхода продукта. Следует учитывать, что с увеличением объемной скорости растет и гидравлическое сопротивление системы, для преодоления которого необходимо повышать давление исходной реакционной смеси, что связано с дополнительными энергетическими затратами, а также опасностью разгерметизации оборудования.

### Контрольные вопросы

1. Как «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» характеризует обеспечение пожарной безопасности технологических процессов?
2. Что такое процесс производства?
3. Какие бывают виды сырья и как оно влияет на пожарную опасность производства?
4. Что такое производительность установки и чем она отличается от мощности?
5. Какие преимущества имеет непрерывный процесс по сравнению с полунепрерывным и периодическим?
6. На чем основаны материальные и энергетические балансы процессов и для чего их составляют?
7. Какую опасность представляют потери веществ из аппаратов производственных установок?
8. Что отражает принцип Ле Шателье – Брауна и в чем заключается его сущность?
9. Что понимают под выходом продукта и степенью превращения?
10. Что такое технологические параметры процесса?
11. Как зависит скорость реакции от температуры?
12. Какие опасности возникают при повышении температуры процесса?
13. Какой технологический параметр оказывает универсальное воздействие на химико-технологический процесс и почему?
14. Какие факторы ограничивают повышение температуры процесса?
15. Как влияет давление на выход продукта и скорость процесса?
16. Как влияет объемная скорость на выход продукта и гидравлическое сопротивление системы?

---

---

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Раздел I. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ .....	5
<b>Глава 1. Основы технологии пожаровзрывоопасных производств .....</b>	<b>5</b>
1.1. Положения Федеральных законов РФ по обеспечению пожарной безопасности технологических процессов .....	5
1.2. Основные виды технологических расчетов.....	6
1.3. Закономерности в технологии .....	8
1.4. Технологические параметры и их влияние на взрывопожарную опасность процессов .....	11
Контрольные вопросы .....	13
<b>Глава 2. Общие сведения о технологическом оборудовании пожаровзрывоопасных производств .....</b>	<b>14</b>
2.1. Классификация технологических процессов и аппаратов пожаровзрывоопасных производств .....	14
2.2. Поведение конструкционных материалов при повышенном давлении, повышенных и пониженных температурах .....	15
2.3. Поведение конструкционных материалов в агрессивных пожаровзрывоопасных средах .....	16
2.3.1. Химическая коррозия и ее разновидности .....	18
2.3.2. Электрохимическая коррозия и ее разновидности .....	19
2.3.3. Влияние технологических параметров на скорость коррозии.....	21
2.4. Основные требования к технологическому оборудованию.....	22
2.5. Элементы проверки оборудования на прочность и его испытания .....	23
2.6. Технические устройства, обеспечивающие безопасную эксплуатацию оборудования.....	26
2.6.1. Обратные и скоростные клапаны .....	26
2.6.2. Предохранительные клапаны.....	27
2.6.3. Температурные компенсаторы .....	30
Контрольные вопросы .....	33
<b>Глава 3. Источники информации о технологии производств и размещении горючих веществ и материалов .....</b>	<b>34</b>
3.1. Технологическая часть проекта и технологический (производственный) регламент как источники информации о технологии и технологическом оборудовании .....	34
3.1.1. Технологическая часть проекта .....	34
3.1.2. Технологический (производственный) регламент .....	35
3.2. Разработка принципиальной схемы технологического процесса .....	37
3.3. Источники информации о размещении горючих веществ и материалов на производстве .....	44
Контрольные вопросы .....	46
Раздел II. АНАЛИЗ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ И ЗАЩИТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫМИ СРЕДАМИ .....	48

<b>Глава 4. Оценка пожаровзрывоопасности среды внутри технологического оборудования и способы обеспечения пожарной безопасности</b> .....	49
4.1. Образование взрывоопасных концентраций в аппаратах с горючими газами и способы обеспечения пожарной безопасности .....	49
4.2. Образование ВОК в аппаратах с пожароопасными жидкостями и способы обеспечения пожарной безопасности .....	52
4.2.1. Открытые аппараты .....	52
4.2.2. «Дышащие» аппараты .....	53
4.2.3. Герметичные аппараты .....	56
4.3. Образование ВОК в аппаратах с твердыми горючими материалами и способы обеспечения пожарной безопасности .....	57
4.4. Образование ВОК в технологическом оборудовании при пуске в работу и остановке на осмотр или ремонт и способы обеспечения пожарной безопасности ....	59
Контрольные вопросы .....	60
<b>Глава 5. Оценка пожаровзрывоопасности среды снаружи нормально работающего технологического оборудования и способы обеспечения пожарной безопасности</b> .....	62
5.1. Пожарная опасность выхода горючих газов из аппаратов и способы обеспечения пожарной безопасности .....	62
5.1.1. Открытые и «дышащие» аппараты .....	62
5.1.2. Герметичные аппараты .....	63
5.2. Пожарная опасность выхода паров горючих жидкостей из аппаратов и способы обеспечения пожарной безопасности .....	64
5.2.1. Открытые аппараты .....	64
5.2.2. «Дышащие» аппараты .....	69
5.3. Пожарная опасность выхода горючей пыли из аппаратов и способы обеспечения пожарной безопасности .....	71
5.3.1. Открытые аппараты .....	72
5.3.2. «Дышащие» аппараты .....	72
5.3.3. Герметичные аппараты .....	73
5.4. Пожарная опасность периодически действующих аппаратов и способы обеспечения пожарной безопасности .....	73
Контрольные вопросы .....	74
<b>Глава 6. Причины повреждения технологического оборудования и способы обеспечения пожарной безопасности</b> .....	75
6.1. Повреждение оборудования от механических воздействий и способы обеспечения пожарной безопасности .....	76
6.1.1. Нарушения материального баланса .....	76
6.1.2. Нарушения теплового баланса .....	80
6.1.3. Воздействие нагрузок динамического характера .....	81
6.2. Повреждение оборудования в результате температурных воздействий и способы обеспечения пожарной безопасности .....	83
6.3. Повреждение оборудования от химических воздействий и способы обеспечения пожарной безопасности .....	83
Контрольные вопросы .....	85

<b>Глава 7. Оценка пожаровзрывоопасности среды в зоне выхода горючих веществ из поврежденного технологического оборудования и способы обеспечения пожарной безопасности</b> .....	87
7.1. Классификация аварий и повреждений технологического оборудования на производственных объектах .....	87
7.2. Определение количества горючих веществ, выходящих наружу при повреждении и разрушении технологического оборудования .....	88
7.2.1. Определение количества горючих веществ, выходящих наружу при локальном повреждении технологического оборудования .....	88
7.2.2. Определение количества горючих веществ, выходящих наружу при полном разрушении технологического оборудования .....	90
7.3. Определение размеров зон взрывоопасных концентраций в производственных помещениях и на открытых технологических площадках при разгерметизации технологического оборудования и способы обеспечения пожарной безопасности .....	93
7.3.1. Образование зоны ВОК в производственном помещении .....	93
7.3.2. Образование зоны ВОК на наружной установке .....	95
7.3.3. Способы предотвращения образования зон ВОК на производственных объектах .....	96
Контрольные вопросы .....	98
<b>Глава 8. Производственные источники зажигания и способы обеспечения пожарной безопасности</b> .....	99
8.1. Классификация производственных источников зажигания и условия предотвращения их появления .....	99
8.1.1. Вынужденное воспламенение горючей среды .....	99
8.1.2. Самовоспламенение и самовозгорание горючих веществ .....	100
8.1.3. Условия предотвращения образования в горючей среде источника зажигания .....	100
8.2. Пожарная опасность теплового проявления химической энергии и способы обеспечения пожарной безопасности .....	101
8.2.1. Пожарная опасность процессов сжигания топлива .....	101
8.2.2. Способы обеспечения пожарной безопасности при сжигании топлива .....	102
8.2.3. Пожарная опасность процессов самовоспламенения и самовозгорания веществ и материалов .....	105
8.2.4. Способы обеспечения пожарной безопасности при возможности самовоспламенения и самовозгорания веществ и материалов .....	108
8.3. Пожарная опасность теплового проявления механической энергии и способы обеспечения пожарной безопасности .....	109
8.3.1. Пожарная опасность искр удара и трения и способы обеспечения пожарной безопасности .....	109
8.3.2. Пожарная опасность узлов трения в машинах и способы обеспечения пожарной безопасности .....	111
8.3.3. Пожарная опасность нагрева газов при сжатии и способы обеспечения пожарной безопасности .....	114
Контрольные вопросы .....	116
<b>Глава 9. Распространение пожара на производстве и способы обеспечения пожарной безопасности</b> .....	118
9.1. Ограничение количества горючих веществ и материалов на производстве .....	118



9.1.1. Ограничение количества горючих веществ и материалов при проектировании производства .....	118
9.1.2. Ограничение количества горючих веществ и материалов при эксплуатации производства .....	120
9.2. Эвакуация горючих веществ и материалов из технологического оборудования при авариях и пожарах на производстве .....	122
9.2.1. Аварийный слив горючих жидкостей .....	123
9.2.2. Аварийный выпуск горючих газов и перегретых паров .....	125
9.3. Защита производственных коммуникаций от распространения огня и раскаленных продуктов горения .....	128
9.3.1. Причины распространения пламени по производственным коммуникациям .....	128
9.3.2. Сухие огнепреградители .....	128
9.3.3. Жидкостные огнепреградители (гидравлические затворы) .....	132
9.3.4. Огнезадерживающие затворы и заслонки .....	134
9.4. Предотвращение распространения пожара при разрушении технологического оборудования .....	135
9.4.1. Защита технологического оборудования от разрушения взрывными мембранными устройствами .....	135
9.4.2. Ограничение аварийного растекания горючих жидкостей в технологическом оборудовании .....	138
9.5. Предупреждение распространения лесных, торфяных и степных пожаров на производственные объекты .....	139
Контрольные вопросы .....	141
<b>Раздел III. ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ И СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТИПОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ...</b>	<b>143</b>
<b>Глава 10. Пожарная опасность и способы обеспечения пожарной безопасности процессов транспортировки и хранения горючих веществ и материалов .....</b>	<b>143</b>
10.1. Пожарная опасность и способы обеспечения пожарной безопасности процессов транспортировки горючих газов и жидкостей по трубопроводам .....	143
10.2. Пожарная опасность и противопожарная защита насосных станций .....	146
10.3. Пожарная опасность и противопожарная защита компрессорных станций .....	149
10.4. Пожарная опасность и противопожарная защита процессов транспортировки твердых горючих материалов .....	151
10.5. Пожарная опасность складов нефти и нефтепродуктов и способы обеспечения пожарной безопасности .....	155
Контрольные вопросы .....	161
<b>Глава 11. Пожарная опасность и способы обеспечения пожарной безопасности процессов механической обработки и переработки твердых горючих веществ и материалов .....</b>	<b>163</b>
11.1. Пожарная опасность и способы обеспечения пожарной безопасности процессов механической обработки металлов .....	163
11.2. Пожарная опасность и способы обеспечения пожарной безопасности процессов механической обработки древесины и пластмасс .....	166
11.2.1. Пожарная опасность и способы обеспечения пожарной безопасности процессов механической обработки древесины .....	166
11.2.2. Пожарная опасность и способы обеспечения пожарной безопасности процессов механической обработки пластмасс .....	168

11.3. Пожарная опасность и противопожарная защита систем улавливания пыли.....	170
Контрольные вопросы.....	173
<b>Глава 12. Пожарная опасность и способы обеспечения пожарной безопасности процессов нагревания горючих веществ .....</b>	<b>175</b>
12.1. Пожарная опасность процессов нагревания водяным паром и горячими продуктами производства и способы обеспечения пожарной безопасности.....	176
12.2. Пожарная опасность процессов нагревания пламенем и топочными газами и способы обеспечения пожарной безопасности .....	179
12.3. Особенности пожарной опасности процессов нагревания высокотемпературными теплоносителями и способы обеспечения пожарной безопасности.....	183
Контрольные вопросы .....	188
<b>Глава 13. Пожарная опасность и способы обеспечения пожарной безопасности процессов ректификации горючих жидкостей .....</b>	<b>189</b>
13.1. Сущность процессов ректификации, область их применения .....	189
13.2. Типы ректификационных колонн и тарелок, их устройство и особенности пожарной опасности.....	191
13.3. Пожарная опасность процессов ректификации и основные способы обеспечения пожарной безопасности.....	195
Контрольные вопросы .....	203
<b>Глава 14. Пожарная опасность и способы обеспечения пожарной безопасности процессов сорбции горючих паров и газов.....</b>	<b>205</b>
14.1. Процессы абсорбции: сущность, область применения и аппараты для их проведения.....	205
14.2. Пожарная опасность процессов абсорбции и способы обеспечения пожарной безопасности.....	209
14.3. Процессы адсорбции: сущность, область применения и аппараты для их проведения.....	211
14.4. Пожарная опасность процессов адсорбции и способы обеспечения пожарной безопасности .....	219
Контрольные вопросы .....	221
<b>Глава 15. Пожарная опасность и способы обеспечения пожарной безопасности процессов окраски.....</b>	<b>223</b>
15.1. Лакокрасочные материалы и способы окраски.....	223
15.2. Окраска изделий методами воздушного и безвоздушного распыления лакокрасочных материалов и способы обеспечения пожарной безопасности .....	226
15.2.1. Окраска методом воздушного (пневматического) распыления .....	226
15.2.2. Окраска методом безвоздушного (гидравлического) распыления.....	227
15.2.3. Особенности пожарной опасности процессов окраски пневматическим и гидравлическим распылением и способы обеспечения пожарной безопасности.....	227
15.3. Окраска изделий в электрическом поле высокого напряжения окунанием и обливом и способы обеспечения пожарной безопасности .....	230
15.3.1. Окраска в электрическом поле высокого напряжения .....	230
15.3.2. Особенности пожарной опасности процессов окраски в электрическом поле высокого напряжения и способы обеспечения пожарной безопасности .....	231
15.3.3. Окраска окунанием и обливом .....	232

15.3.4. Особенности пожарной опасности процессов окраски окунанием и обливом и способы обеспечения пожарной безопасности.....	235
Контрольные вопросы .....	236
<b>Глава 16. Пожарная опасность и способы обеспечения пожарной безопасности процессов сушки .....</b>	<b>237</b>
16.1. Классификация сушилок и их основные типы.....	237
16.2. Пожарная опасность конвективной сушки твердых горючих материалов и окрашенных изделий и способы обеспечения пожарной безопасности.....	240
16.3. Особенности пожарной опасности терморadiационных сушилок и способы обеспечения пожарной безопасности .....	247
16.4. Особенности пожарной опасности высокочастотных и контактных сушилок и способы обеспечения пожарной безопасности .....	249
Контрольные вопросы .....	254
<b>Глава 17. Пожарная опасность и способы обеспечения пожарной безопасности химических процессов .....</b>	<b>255</b>
17.1. Классификация химических процессов и химических реакторов .....	255
17.2. Пожарная опасность и способы обеспечения пожарной безопасности экзотермических химических процессов .....	256
17.2.1. Пожарная опасность и способы обеспечения пожарной безопасности процессов гидрирования и гидрохлорирования .....	256
17.2.2. Пожарная опасность и способы обеспечения пожарной безопасности процессов полимеризации и поликонденсации.....	260
17.3. Пожарная опасность и способы обеспечения пожарной безопасности эндотермических химических процессов .....	264
17.3.1. Пожарная опасность и способы обеспечения пожарной безопасности процессов крекинга и пиролиза .....	264
17.3.2. Пожарная опасность и способы обеспечения пожарной безопасности процессов дегидрирования .....	268
Контрольные вопросы .....	269
<b>Раздел IV. ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ ТРЕБОВАНИЯМ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ .....</b>	<b>271</b>
<b>Глава 18. Система нормативно-правовых актов и нормативных документов по обеспечению пожарной безопасности технологических процессов .....</b>	<b>271</b>
18.1. Основные положения Закона РФ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» по обеспечению пожарной безопасности технологических процессов .....	271
18.2. Система нормативных документов по обеспечению пожарной безопасности технологических процессов добровольного применения .....	274
18.3. Особенности применения обязательных и добровольных требований пожарной безопасности при оценке соответствия объекта защиты Федеральному закону .....	276
18.4. Особенности применения требований Федерального закона для строящихся объектов или объектов, проектирование которых началось до момента вступления закона в силу.....	278
Контрольные вопросы .....	278

<b>Глава 19. Классификация помещений и зданий по пожарной и взрывопожарной опасности</b> .....	280
19.1. Назначение системы категорирования помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности .....	280
19.2. Классификация категорий помещений и зданий и их характеристика .....	280
19.3. Критерии категорирования помещений и их количественная оценка.....	282
19.4. Выбор и обоснование расчетного варианта.....	286
19.5. Определение категории помещения и здания (пожарного отсека).....	286
Контрольные вопросы .....	288
<b>Глава 20. Классификация наружных установок по пожарной опасности</b> ....	289
20.1. Классификация категорий наружных установок и их характеристика.....	289
20.2. Критерии пожарной опасности наружных установок и их количественная оценка.....	290
20.3. Выбор и обоснование расчетного варианта.....	292
20.4. Определение категории наружной установки.....	293
Контрольные вопросы .....	293
<b>Глава 21. Оценка соответствия технологического оборудования проектируемых пожаровзрывоопасных производств требованиям пожарной безопасности</b> .....	295
21.1. Вопросы, подлежащие рассмотрению при проведении оценки соответствия технологической проектной документации требованиям пожарной безопасности .....	295
21.2. Разделы технологической проектной документации, подлежащие рассмотрению при оценке соответствия требованиям пожарной безопасности .....	297
21.3. Оценка соответствия классификационных показателей пожарной опасности технологических процессов.....	299
21.4. Методика разработки анкеты оценки соответствия технологических решений требованиям пожарной безопасности .....	300
Контрольные вопросы .....	301
<b>Глава 22. Оценка соответствия технологического оборудования действующих пожаровзрывоопасных производств требованиям пожарной безопасности</b> .....	302
22.1. Задачи, решаемые при проведении оценки соответствия технологического оборудования требованиям пожарной безопасности.....	302
22.2. Методика разработки анкеты оценки соответствия технологического оборудования требованиям пожарной безопасности.....	302
22.3. Подготовка заключения по результатам оценки соответствия технологического оборудования требованиям пожарной безопасности.....	305
Контрольные вопросы .....	306
ЛИТЕРАТУРА.....	307

*Учебное издание*

ГОРЯЧЕВ Станислав Анатольевич  
ШВЫРКОВ Сергей Александрович  
ПЕТРОВ Анатолий Павлович  
КЛУБАНЬ Владимир Семенович  
ВОРОБЬЕВ Владимир Викторович  
БАТМАНОВ Сергей Васильевич  
ПАНАСЕВИЧ Людмила Тихоновна  
МОЛЧАНОВ Сергей Валентинович

## ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Учебник для бакалавров

Редактор *З. А. Малаховская*  
Технический редактор *Е. Н. Титкова*  
Корректор *З. А. Малаховская*

Подписано в печать 09.08.2013 г. Формат 60 × 90 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Бумага офсетная. Печ. л. 19,75. Уч.-изд. л. 1,60  
Тираж 500 экз. Заказ 420

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