

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Ивановский государственный химико-технологический университет

**В.Ю. Прокофьев**

**ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ПРОИЗВОДСТВ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ**

*Учебное пособие*

Иваново 2015

УДК 66.02:621.22.011:620.19

**Прокофьев, В.Ю.**

Основы проектирования производств неорганических веществ: учебное пособие / В.Ю. Прокофьев; Иван. гос. хим.-технол. ун-т, – Иваново, 2015. – 131 с.

**ISBN 978-5-9616-0456-6**

В учебном пособии рассмотрены принципы выбора способа производства химических продуктов, обсуждены подходы к оптимизации технических решений на стадии проектирования. Описан порядок создания вновь строящихся и реконструкции действующих производств, а также состав технического проекта. Приведены принципы систем автоматизированного проектирования. Рекомендована форма технического задания на проектирование химико-технологического процесса.

Предназначено для студентов химико-технологических специальностей, обучающихся по направлению 18.03.01 «Химическая технология».

Табл. 5. Ил. 8. Библиогр.: 30 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Ивановского государственного химико-технологического университета

**Рецензенты:**

кафедра ЭТГ Ивановского государственного энергетического университета;

доктор технических наук, профессор А.И. Сокольский (Ивановский государственный политехнический университет)

**ISBN 978-5-9616-0456-6**

© Прокофьев В.Ю., 2015  
© ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный химико-технологический университет», 2015

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ГЕНЕЗИС НОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	5
1.1. Химическая концепция метода и постановка задачи.....	9
1.1.1. Пример вариантов химической концепции.....	10
1.1.2. Оценка химической концепции – стехиометрические расчеты.....	17
1.2. Технологическая концепция метода.....	20
1.2.1. Единичные элементы процесса.....	21
1.2.2. Принцип наилучшего использования разности потенциалов.....	25
1.2.3. Принципы наилучшего использования сырья.....	30
1.2.4. Принцип наилучшего использования энергии.....	38
1.2.5. Принцип наилучшего использования оборудования.....	46
1.2.6. Принцип технологической соразмерности.....	53
2. ПРОЦЕСС СОЗДАНИЯ НОВОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	55
2.1. Основные принципы размещения предприятий химической промышленности.....	55
2.2. Техничко-экономическое обоснование целесообразности реконструкции или нового строительства.....	57
2.3. Выбор площадки для строительства.....	61
2.4. Разработка задания на проектирование промышленных предприятий.....	62
2.5. Проектирование промышленного объекта.....	64
2.5.1. Разработка технического проекта.....	65
2.5.2. Состав технического проекта.....	66
2.6. Методы проектирования.....	67
2.7. Проектирование химического производства.....	68
3. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	75
3.1. Основные принципы создания САПР.....	75
3.2. Применение ЭВМ для автоматизации процесса проектирования.....	78
3.3. Автоматическое изготовление чертежей.....	82
3.4. Основные преимущества автоматизации проектирования.....	83
3.5. Основные требования к САПР.....	84
3.6. Связь САПР с производством, расширение области применения.....	87
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	89
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	129

## ВВЕДЕНИЕ

Рост производительности труда требует не только интенсивного развития промышленности путем ежегодного увеличения капиталовложений, но и повышения технического уровня, рационального размещения проектируемых предприятий.

В проекте решаются чрезвычайно важные вопросы и ответственные инженерные задачи: выбор в данных конкретных условиях наиболее эффективного способа производства, расчет размеров и количества аппаратов и машин, а также определение оптимального режима работы оборудования и др. Сложность проектирования обусловлена тем, что многие инженерные проблемы тесно связаны между собой и их решение зависит от географических, социальных и экономических факторов. Объектами проектирования являются отдельные цеха, их части, целые предприятия, всевозможные сочетания производств или окружающая среда проектируемых объектов.

Создание нового производства — длительный и дорогостоящий процесс. На разработку промышленного способа производства нового продукта или нового, более совершенного метода получения известного продукта затрачивается от 3 до 10 лет труда крупных коллективов исследователей, конструкторов, технологов, экономистов, строителей и требуется много средств и материалов.

Ведущая роль в разработке нового химического производства принадлежит инженерам-технологам, которые участвуют на всех ее стадиях от определения потребности в каком-либо продукте до пуска и освоения производства. Наиболее ответственная работа инженера-технолога — это выбор направления лабораторных исследований, разработка метода производства, сравнение и оценка различных способов получения продукта на основе литературных сведений, данных исследований в лаборатории, на пилотной или опытно-промышленной установке. Все технико-экономические расчеты, определяющие экономическую эффективность любого производства, выполняются на основе данных (расходные коэффициенты по сырью и энергии, размеры и количество оборудования и др.), получаемых технологическим расчетом.

На стадии проектирования промышленного объекта инженер химик-технолог координирует работу многих подразделений проектного института, он выдает исходные данные и составляет задания специалистам разного профиля — механикам, энергетикам, теплотехникам, строителям, экономистам и т. д.

## 1. ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ГЕНЕЗИС НОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Химическая технология — прикладная наука о наиболее экономичных процессах (проводимых с участием физико-химических превращений) производства необходимых человечеству продуктов, предметов и требуемых видов энергии. В противоположность химии, который может синтезировать в лабораторных условиях нужный продукт в небольшом количестве и часто весьма дорогостоящим способом, технолог ставит своей задачей производство этого продукта в промышленном масштабе при возможно более низких экономических затратах. Эти две особенности химической технологии — большой масштаб производства и выбор экономичных методов и способов переработки — обуславливают различие в деятельности химика-технолога и химика-исследователя.

Изучение химической технологии имеет следующие цели:

1) ознакомление с используемыми в настоящее время методами переработки сырья и производства продуктов; — это энциклопедический свод сведений об исходных веществах и применяемых способах работы, представляющий собой введение в изучение химической технологии;

2) усвоение общих законов (физических; физико-химических и инженерных), последовательное применение которых дает возможность оптимального решения технологической проблемы, т. е. создания наилучших (в данных условиях) химической и технологической концепций нового метода.

В процессе развития химической технологии как науки можно выделить несколько последовательных периодов.

В первом, наиболее раннем периоде химическая технология была собранием рецептов и описаний проведения технологических процессов без какого-либо обоснования причин выбора определенного способа работы.

В следующем периоде кроме описания актуальных технологических методов в руководствах по технологии предпринимались попытки анализа некоторых физико-химических явлений и обоснования причин, определяющих выбор рассматриваемого технологического метода.

Третий период, который отчетливо обозначился после первой мировой войны, можно характеризовать стремлением выделить из технологических процессов единичные физические процессы (общие для многих технологических методов), такие как, например, транспортирование потоков по трубам, теплообмен, фильтрование, дистилляция и т. д. Учение об этих единичных физических процессах в настоящее

время представляет собой самостоятельную дисциплину, называемую инженерной химией. Современная *инженерная химия*, или *химическая техника*, включает основные процессы и аппараты химической технологии, химические реакторы и химическую кибернетику. В отличие от химической технологии, в основе инженерной химии лежат закономерности технической физики.

Существует тенденция выделения и систематизации процессов с химическими превращениями как отдельной прикладной науки о промышленных химических процессах (включая теорию химических реакторов), которая базируется на законах химической термодинамики и прикладной кинетики.

Для решения технологической проблемы нужно знать не только применяемые методы химического производства и уметь выделить единичные элементы (единичные процессы и операции), но, прежде всего, следует установить методы наиболее рационального (технически и экономически) перехода в промышленном масштабе от исходных веществ или сырых природных материалов к необходимому конечному химическому продукту.

Ответ на это дает наука о проектировании технологического процесса, основывающаяся на теории эксперимента, общих технологических принципах, теории подобия и моделирования, а также на теории оптимизации.

Таким образом, описание используемых технологических процессов, содержащее разбор их физико-химических основ, — это систематика химической технологии, а изложение методов проектирования нового технологического процесса — это теория химической технологии.

Результатом деятельности химика-технолога, проектирующего новый процесс, является технологический проект, заключающий в себе характеристики исходных веществ, определение типа, числа, размеров и последовательности всех аппаратов технологической цепочки, а также всех оптимальных значений параметров процесса.

Основанием для составления технологического проекта служат данные исследований, относящихся к разработке нового метода, состоящей из нескольких этапов.

Цель *химической концепции метода* — выбор исходных веществ и установление последовательности химических и физических превращений, обеспечивающих получение конечного продукта. Обычно существует несколько возможных вариантов перехода от исходных веществ, которыми мы располагаем, к желаемому конечному продукту. Предварительный их анализ основан на проведении стехиометрических и термодинамических расчетов, дающих возможность теорети-

чески определить достижимые выходы по известным литературным данным. После предварительного анализа можно отвергнуть некоторые теоретически возможные способы и выбрать наиболее многообещающий метод, для которого затем планируются экспериментальные исследования.

Исследования проводятся в лабораторном масштабе. Диапазон исследований зависит от типа процесса — с помощью методов теории подобия и моделирования процессов определяется, какие параметры должны быть исследованы (устанавливаются так называемые условия однозначности процесса).

Эксперименты должны включать изучение статики, кинетики и механизма процесса. Однако часто полное исследование сложного процесса невозможно, и мы ограничиваемся нахождением зависимости производительности от отдельных параметров.

Результаты эксперимента требуют математической обработки. Лучшее всего, если их можно представить в виде уравнений, дающих возможность интерполировать и экстраполировать полученные результаты; определяется также точность (т. е. величина ошибки) измерений.

Работа на этом этапе исследований охватывает также измерения и вычисления физико-химических величин (характеризующих исходные вещества, конечные продукты и реакционные системы), необходимых для проектирования процесса. Это термохимические, термодинамические и термокинетические величины, такие как теплота образования, теплоемкость, энтальпия и энтропия, кинетические константы, плотность, вязкость, коэффициенты теплопроводности и диффузии и т. п. Необходимо располагать значениями указанных величин не только для чистых (индивидуальных) реагентов, но и для их смесей, а также изучить равновесие в многофазных системах, участвующих в процессе.

Собранные данные о статике и кинетике процесса, а также о свойствах реагентов являются основой для создания технологической концепции процесса, т. е. завершения выбора и упорядочения единичных процессов и операций, а также определения способа их реализации.

Создание *технологической концепции процесса* базируется на общих технологических принципах:

- 1) использование разности потенциалов;
- 2) наилучшее использование исходных веществ (сырья);
- 3) наилучшее использование энергии;
- 4) наилучшее использование оборудования<sup>1</sup>,

5) технологическая соразмерность — нахождение оптимума в тех случаях, когда применение отдельных принципов приводит, к противоречиям.

Результатом создания технологической концепции на первой стадии проектирования является принципиальная схема процесса, на которой прямоугольниками обозначены единичные элементы процесса и основные их параметры, а также указаны исходные вещества, полупродукты, побочные продукты, отходы и целевой продукт. Стрелки, соединяющие прямоугольники, покрывают последовательность единичных элементов процесса и направление движения реагентов.

Следует помнить, что принципиальная схема составляется на основе технологических принципов, имеющих лишь качественный характер; поэтому далее необходим предварительный анализ предложенной схемы (и возможное ее исправление). Для этой цели составляются материальный и энергетический балансы процесса.

Если предварительный анализ подтвердил целесообразность принятой схемы, нужно провести дальнейшие исследования, направленные на развитие метода. Теория моделирования процессов дает возможность установить, какие единичные элементы процесса должны быть изучены в несколько последовательных этапов с целью их масштабирования (четверть- и полупромышленный масштаб опытного производства, пилотная установка), а также какие единичные элементы можно проектировать в большом масштабе без проведения экспериментов. На основе данных, полученных при проведении исследований, направленных на развитие метода, нужно сделать выбор типов аппаратов и конструкционных материалов. Окончанием этого этапа исследований будет составление предварительной технологической схемы, на которой отдельные единичные элементы процесса обозначены нормируемыми условными символами определенных аппаратов.

Следующий этап в разработке нового процесса — вычисление размеров аппаратов. Определение этих размеров основывается на методах расчета аппаратуры для проведения единичных типовых процессов (известных из инженерной химии), на методах расчета реакторов (известных из теории промышленных химических процессов), а также на результатах исследований процесса на полупромышленных и пилотных установках с применением методов теории моделирования. С вопросом вычисления размеров аппаратов связывается важная проблема определения числа параллельно работающих одинаковых аппаратов и числа резервных аппаратов (обеспечивающих бесперебойность работы при авариях ремонтах и т. п.).

Проблему надо рассматривать в целом (стадии производства взаимосвязаны) и результаты вычислений размеров аппаратов проверять, используя методы оптимизации.

Определение размеров, числа, параметров и графика работы аппаратов всего производственного процесса служит основой для составления технологической схемы установки.

В заключение на этом этапе выбирают предварительные способы контроля и автоматизации процесса.

Работа по развитию нового метода заканчивается составлением технологической схемы и детальным критическим анализом процесса. В целях завершения анализа процесса рассчитываются общие материальный и энергетический балансы и вычерчиваются диаграммы потоков. На этой основе устанавливаются коэффициенты расхода веществ, энергии, вспомогательных материалов и т. д. Анализом расположения аппаратов в технологической цепочке определяется количество требуемых рабочих. Составляются ориентировочная смета строительства и предварительная калькуляция издержек производства. Проводится экономический анализ, в котором сравниваются стоимость изготовления продукта новым методом и стоимость его производства существующими методами.

Обычно во время работы над составлением технологического проекта обнаруживается несколько возможностей реализации метода; в этом случае проводятся технологический и экономический анализы отдельных вариантов с целью окончательного выбора оптимального решения.

### **1.1. Химическая концепция метода и постановка задачи**

В начале разработки промышленного производства какого-либо продукта, прежде всего, нужно установить химическую концепцию метода его получения, т. е. принять определенный способ рассмотрения химизма метода. На этом этапе обычно выбираются исходные вещества или сырые исходные продукты, из которых будет получаться целевой продукт, и находятся физико-химические превращения, необходимые для получения этого продукта. Иногда случается, что можно применить точно такую же технологию, какую используют, изготавливая данный продукт в лаборатории. Однако чаще всего лабораторный метод слишком дорог и нужно искать или разрабатывать новый, менее дорогой метод получения требуемого продукта.

При создании химической концепции за основу берутся главным образом литературные данные и записываются уравнения физико-химических превращений с указанием ориентировочных значений параметров (температур, давлений и т. д.).

В уравнениях используются символы основных исходных веществ, т.е. тех, составляющие которых войдут в главный продукт и принима-

ют участие в превращениях, а также символы вспомогательных исходных веществ, составляющие которых в главный продукт не входят. Например, в процессе нитрования бензола смесью азотной и серной кислот основными исходными продуктами являются бензол и азотная кислота, составляющие которых входят в главный конечный продукт – нитробензол. Серная кислота в данном случае — вспомогательное исходное вещество.

Приведенное выше деление исходных продуктов на основные и вспомогательные имеет практическое значение. Обычно, рассматривая несколько вариантов химической концепции, нужно брать за основу самые главные исходные вещества; вспомогательные же вещества можно заменять другими, например, более доступными, что создает большие возможности рационального решения задачи.

Применение вспомогательных исходных веществ способствует проведению таких реакций, которые на практике в одно превращение осуществить невозможно. Например, при введении вспомогательного исходного вещества реакция может изменить ход и протекать с более низким энергетическим барьером, чем прямая реакция без вспомогательного исходного вещества. В других случаях введение вспомогательного исходного вещества, реагирующего с большим выделением теплоты, улучшает суммарный энергетический баланс процесса и т. д.

### ***1.1.1. Пример вариантов химической концепции***

В качестве примера выбора варианта химической концепции и иллюстрации приведенных выше рассуждений рассмотрим проблему производства нитрата аммония — искусственного удобрения, широко применяемого в сельском хозяйстве. Для сравнения сопоставим процессы, которые имеют уже только историческое значение, концепции, реализация которых невозможна, и широко используемые методы.

**1.** Получение нитрата аммония в лаборатории. Главные исходные вещества — водный раствор аммиака, азотная кислота.

- а)  $\text{NH}_4\text{OH} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{H}_2\text{O}$  (сильно экзотермическая реакция);
- б) выпаривание раствора и кристаллизация нитрата аммония.

**2.** Наиболее старый промышленный метод. Главные исходные вещества — аммиачная вода (с газового завода), натриевая (чилийская) селитра, вспомогательное исходное вещество — серная кислота.

- а)  $\text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{HNO}_3 + \text{NaHSO}_4$ ;
- б)  $\text{NH}_4\text{OH} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{H}_2\text{O}$  (как в методе 1а);
- в) выпаривание и кристаллизация (как в методе 1б).

Процесс неэкономичен, в настоящее время не используется.

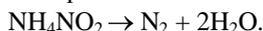
Промышленные производства нитрата аммония полагались на исключении исходных веществ, возможности получения которых очень ограничены (аммиак с газового завода, натриевая селитра), и замене их основными исходными веществами, запасы которых практически неограничены (кислород, азот и вода), а также на нахождении такого решения, при котором используется теплота, выделяющаяся при проведении экзотермической реакции взаимодействия аммиака с азотной кислотой, для упаривания раствора нитрата аммония.

**3.** Синтез азотной кислоты в электрической дуге. Основные исходные вещества — воздух, вода, аммиачная вода.

- а)  $N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$  (в электрической дуге);
- б)  $4NO + 2H_2O + 3O_2 \rightarrow 4HNO_3$  (абсорбция окислов азота водой);
- в)  $NH_4OH + HNO_3 \rightarrow NH_4NO_3 + H_2O$  (как в методе 1а);
- г) выпаривание и кристаллизация (как в методе 1б).

Использовалось несколько различных конструкций дуговых печей для проведения реакции (а). Низкий тепловой КПД реакции (а) был причиной большого расхода энергии в процессе, поэтому данный метод давно не применяется.

**4.** Синтез нитрата аммония через нитрит аммония, полученный из воздуха и воды (без участия вспомогательных исходных веществ). Известна реакция разложения нитрита аммония



Предложенная концепция основана на обращении этой реакции и последующем окислении нитрита до нитрата кислородом воздуха. Основные исходные вещества — воздух, вода.

- а)  $N_2 + 2H_2O \rightarrow NH_4NO_2$ ;
- б)  $NH_4NO_2 + O_2 \rightarrow 2NH_4NO_3$ .

Термодинамический расчет показывает, что обращения реакции разложения нитрита аммония можно было бы добиться лишь в условиях, которые невозможно реализовать в настоящее время. Таким образом, данная концепция нереальна.

**5.** Синтез нитрата аммония из воды и воздуха через аммиак (без участия вспомогательных исходных веществ). Основные исходные вещества — воздух, вода.

- а)  $2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$  (электролиз);
- б)  $N_2 + 3H_2 \rightarrow NH_3$  (катализатор — активированное железо,  $t \sim 450$  °С,  $P = 200 - 1000$  ат);
- в)  $4NH_3 + 5O_2 \rightarrow 4NO + 6H_2O$  (катализатор — платина,  $t \sim 900$  °С);
- г)  $4NO + 2H_2O + 3O_2 \rightarrow 4HNO_3$  (абсорбция окисла азота водой);
- д)  $NH_3 + HNO_3 \rightarrow NH_4NO_3$ ;
- е) выпаривание и кристаллизация (как в методе 1б).

Рассмотренный метод применяется в том случае, когда имеется недорогая электроэнергия, расходуемая в больших количествах в процессе электролиза. Благодаря большому расходу энергии можно из тех же исходных веществ, что и в варианте 4 (или других способах), реализовать процесс в промышленном масштабе.

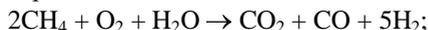
Устройства для получения водорода путем электролиза воды имеют большие размеры и дороги. Часть концепции (б) – (е), т. е. синтез аммиака из водорода и азота, разработанный Габером и Бошем, и окисление аммиака до оксидов азота в присутствии платины по Оствальду является в настоящее время общепринятым методом получения азотной кислоты.

**6.** Синтез нитрата аммония из воздуха и воды с использованием вспомогательного исходного вещества — метана. Основные исходные продукты — воздух, вода. Вспомогательный исходный продукт — метан (природный газ или, например, из коксового газа).

а) вариант I



вариант II — сжигание метана в смеси кислорода и водяных паров



б)  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$  ( $t \sim 400^\circ\text{C}$ , катализатор — окись железа, активированная окисью хрома);

в) удаление  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$  из смеси (вымывание  $\text{CO}_2$  под давлением 10–20 ат и дальнейшая очистка газа);

г)  $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{NH}_3$  (как в методе 5б);

д)  $4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \rightarrow 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$  (как в методе 5в);

е)  $4\text{NO} + 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{O}_2 \rightarrow 4\text{HNO}_3$  (как в методе 5г);

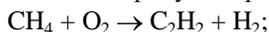
ж)  $\text{NH}_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3$  (как в методе 5д);

и) выпаривание и кристаллизация (как в методе 1б).

Описанный способ широко применяется в промышленности.

**7.** Одновременное производство из воздуха, воды и метана двух продуктов – нитрата аммония (главного продукта) и ацетилен (ценного побочного продукта). Основные исходные вещества — воздух, вода, метан (природный газ).

а)  $\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}$  (сгорание метана в кислороде, быстрое охлаждение продуктов реакции);



б) разделение газообразных продуктов;

в)  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$  (как в методе 6б);

г) удаление  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$  (как в методе 6в);

д)  $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{NH}_3$  (как в методе 5б);

е)  $4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \rightarrow 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$  (как в методе 5в);

ж)  $4\text{NO} + 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{O}_2 \rightarrow 4\text{HNO}_3$  (как в методе 5г);

з)  $\text{NH}_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3$  (как в методе 5д);

и) выпаривание и кристаллизация (как в методе 1б).

Существует несколько вариантов описанного метода, касающихся разложения метана на водород и ацетилен. Этот метод часто применяют в промышленности.

**8.** Синтез нитрата аммония из воздуха и воды с участием кокса (или бурого угля) в качестве вспомогательного исходного вещества. Основные исходные вещества — воздух, вода. Вспомогательное исходное вещество — кокс (или уголь).

а) вариант I

$\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$  (получение водяного газа в генераторе);

вариант II (кроме того, имеется много других вариантов)

$2\text{C} + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{CO} + 5\text{H}_2$  (получение газа в генераторе с кислородно-паровым поддувом);

б)  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$  (как в методе 6б)

в) удаление CO и CO<sub>2</sub> (как в методе 6в)

г)  $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{NH}_3$  (как в методе 5б)

д)  $4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \rightarrow 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$  (как в методе 5в)

е)  $4\text{NO} + 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{O}_2 \rightarrow 4\text{HNO}_3$  (как в методе 5г)

з)  $\text{NH}_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3$  (как в методе 5д);

и) выпаривание и кристаллизация (как в методе 1б).

Метод широко используется в промышленности, но во многих случаях уступает методу, основанному на переработке метана, как более низкому по стоимости и требующему меньшей и не очень дорогой аппаратуры для производства водорода.

**9.** Получение нитрата аммония в круговом процессе с использованием нескольких вспомогательных исходных веществ. Основные исходные вещества — вода, воздух. Вспомогательные исходные вещества — окись кальция, кокс.

а)  $\text{CaO} + 3\text{C} \rightarrow \text{CaC}_2 + \text{CO}$  (в электрической печи);

б)  $\text{CaC}_2 + \text{N}_2 \rightarrow \text{CaCN}_2 + \text{C}$  (в электрической печи);

в)  $\text{CaCN}_2 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NH}_3 + \text{CaCO}_3$  (в автоклаве);

г)  $4\text{NH}_2 + 5\text{O}_2 \rightarrow 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$  (как в методе 5в);

д)  $4\text{NO} + 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{O}_2 \rightarrow 4\text{HNO}_3$  (как в методе 5г);

е)  $\text{NH}_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3$  (как в методе 5д);

ж) выпаривание и кристаллизация (как в методе 1б).

Теоретически существует возможность регенерации CaO и возвращения его в цикл (никогда не применялась):

з)  $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ .

Метод получения аммиака путем гидролиза цианамиды некоторое время использовался в промышленности, но затем был отвергнут как неэкономичный.

**10.** Получение нитрата аммония с применением вспомогательных исходных веществ и одновременным получением ценного побочного продукта — металлургической окиси алюминия из вещества, содержащего  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — боксита. Основные исходные вещества — воздух, вода, боксит. Вспомогательное исходное вещество — кокс.

а)  $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{C} + \text{N}_2 \rightarrow 2\text{AlN} + 3\text{CO}$  (получение и разложение нитрида алюминия);

б)  $2\text{AlN} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{NH}_3$ ;

в)  $4\text{NH}_2 + 5\text{O}_2 \rightarrow 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$  (как в методе 5в);

г)  $4\text{NO} + 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{O}_2 \rightarrow 4\text{HNO}_3$  (как в методе 5г);

д)  $\text{NH}_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3$  (как в методе 5д);

е) выпаривание и кристаллизация (как в методе 1б).

Данный метод не имел промышленного применения из-за трудностей нахождения конструкционных материалов, устойчивых в условиях проведения реакции (а).

Теоретически можно считать, что каждая из десяти представленных концепций может быть использована для получения нитрата аммония. Для исключения неэкономичных и нереальных решений необходимо провести предварительный анализ этих концепций. Анализ заключается в установлении расхода исходных веществ и энергии (путем проведения стехиометрических вычислений и определения достигаемого выхода на основе термодинамического расчета).

Выполнение этих сравнительных расчетов дает возможность сделать следующие выводы.

**1.** Лабораторный метод получения нитрата аммония из аммиака и азотной кислоты лежит в основе промышленных решений. В рассматриваемом случае проблема сводится к нахождению экономичных методов промышленного производства аммиака и азотной кислоты.

**2.** Получение аммиака в качестве побочного продукта на газовых заводах, а азотной кислоты из натриевой (чилийской) селитры не могло решить проблемы производства соединений азота в большом масштабе и имеет лишь историческое значение.

**3.** Образование окиси азота из кислорода и азота происходит при очень высокой температуре. Термодинамические расчеты значений константы равновесия реакции (3а) и расчет теплового баланса показывают, что выход реакции будет невелик, а расходы энергии на нагревание реагентов очень велики.

Существует, однако, теоретическая возможность регенерации теплоты отходящих газов для подогрева воздуха, направляемого на реакцию, поэтому на основе предварительного анализа нельзя полностью дискредитировать метод. Разобранный способ получения NO в электрической дуге давно не используется в промышленности, но исследования метода, например, при нагревании входящих газов до температуры 2000 °С и быстром охлаждении продуктов в регенераторах по-прежнему проводятся.

**4.** Обращение реакции разложения нитрита аммония не имеет перспектив промышленной реализации. Расчеты показывают, что изменение энергии Гиббса в случае реакции (4а) имеет высокое положительное значение – даже при недостижимом в технических условиях очень высоком давлении  $10^{51}$  ат концентрация продукта была бы порядка  $10^{-6}$  кмоль/м<sup>3</sup>, и, следовательно, реакция не может иметь практического значения.

**6.** Получение нитрата аммония с использованием аммиака, синтезированного из азота и водорода, в настоящее время является единственным методом, применяемым в промышленном масштабе. В этом способе окись азота образуется не при непосредственном соединении кислорода с азотом (как в реакции 3а), а косвенным путем с помощью окисления синтезированного ранее аммиака.

В данном случае можно еще раз убедиться в том, что введение вспомогательного исходного вещества (в этом методе — водорода) дает возможность добиться большого выхода такой реакции ( $N_2 + O_2$ ), прямое проведение которой затруднено.

Заводы, на которых применяется этот метод получения нитрата аммония, работают в странах, располагающих недорогой электроэнергией (Италия, Норвегия), что обеспечивает рентабельное производство водорода электролизом воды.

**6–8.** Методам, основанным на концепции получения водорода путем проведения реакций взаимодействия горючих веществ (природный газ, другие газообразные и жидкие углеводороды, кокс т. п.) с водяным паром, в настоящее время отдается почти исключительное предпочтение. Термохимические и термодинамические расчеты позволяют определить минимальный (теоретический) расход топлива и максимальный выход продукта. В выборе одного из рассмотренных методов решающее значение имеет экономический расчет. Особенно заслуживает внимания метод **7** виду одновременного получения ценного побочного продукта — ацетилена. Ацетилен образуется как лабильный продукт одной из нескольких реакций, происходящих одновременно, и его удается выделить благодаря быстрому охлаждению системы. В этом слу-

чае предварительный анализ не дает результата, поскольку ни стехиометрический, ни термодинамический расчеты не позволяют определить выход ацетилена, который зависит главным образом от кинетических условий проведения реакции (например, формы реакционного пространства, скоростей потоков, скорости нагревания и охлаждения газовой смеси и т. п.). Для оценки концепции обязательно нужно провести исследование в промышленном масштабе.

**9.** Данная концепция отличается от большинства других тем, то аммиак не синтезируется из азота и водорода, а получается при гидролизе цианамиды кальция. Предварительный ее анализ легко обнаруживает, что ввиду значительных расходов вспомогательных исходных веществ и электроэнергии (две стадии процесса осуществляются в электрических печах) этот метод нерентабелен и не может конкурировать с концепциями 6–8.

**10.** Такой метод (одновременное получение аммиака и окиси алюминия) является интересной химической концепцией, а стехиометрические и термодинамические расчеты показывают, что рентабельность производства не исключена. Следовательно, в этом случае не предварительный анализ концепции, а только результаты исследований в промышленном масштабе могут дискредитировать концепцию как неосуществимую из-за отсутствия в настоящее время достаточно стойких материалов для аппаратуры.

Таким образом, предварительный анализ проблемы, основанный на стехиометрических, термодинамических и термохимических расчетах, приводит к следующим выводам.

**а)** Непосредственное осуществление синтеза нитрата аммония из воздуха и воды (как основных исходных веществ) в одну стадию по уравнению



требует подвода извне большого количества энергии и невозможно при использовании методов, которыми в настоящее время располагает химическая техника.

**б)** Рассмотренный процесс можно провести в несколько этапов.

**в)** Реализовать процесс с подводом энергии извне можно по варианту 3 (синтез NO в электрической дуге) и варианту 5 (электролиз воды).

**г)** Вместо подвода энергии извне процесс можно реализовать, используя вспомогательные исходные вещества, принимающие участие в экзотермических реакциях. В вариантах 6–8 вспомогательными исходными веществами, дающими возможность осуществить процесс, являются соединения с высокой теплотой сгорания метан, кокс).

д) В вариантах 9 и 10 подводится энергия (к печам) и используются энергоемкие вспомогательные исходные вещества (кокс), а также вещества, не вносящие дополнительной энергии в процесс (известь, боксит).

Приведенный пример хорошо иллюстрирует сущность химической концепции и роль ее анализа как фактора, устраняющего нереальные концепции, указывающего на перспективные возможности развития некоторых методов и определяющего диапазон исследований, которые нужно в дальнейшем провести.

### ***1.1.2. Оценка химической концепции — стехиометрические расчеты***

Введением в анализ химической концепции является установление с помощью стехиометрических расчетов количеств основных и вспомогательных веществ, которые теоретически необходимы для получения определенного количества продукта. Расчеты основаны на законах сохранения массы, постоянства состава и кратных отношений, а также на законе действия масс, если реакция обратима и известно значение константы равновесия.

Выход реакции обычно значительно ниже теоретического (найденного стехиометрическим расчетом) по следующим причинам: 1) обычно перед достижением состояния равновесия реакция получения целевого продукта «прерывается» (разность скоростей прямой и обратной реакций очень мала); 2) главной реакции часто сопутствуют побочные, приводящие к увеличению расхода исходных веществ; 3) в технологическом процессе существуют различные потери, не учтенные в теоретическом расчете. Если влияние этих факторов известно (по работе какой-нибудь промышленной установки), то теоретический расчет можно скорректировать, умножив результат вычислений на определенный в практических условиях коэффициент (меньше единицы).

Часто при проведении стехиометрических расчетов возникает необходимость вычислений объемов, давлений, плотности или влажности газов, принимающих участие в процессе, а также определения плотности смесей и концентраций компонентов, т. е. выполнения простых физических расчетов.

В общем случае реакционная смесь содержит исходные вещества, вводимые в аппарат и принимающие участие в химическом превращении, и продукты, образующиеся в результате химического превращения (например, промежуточные и конечные – целевой, побочные, отходы). Исходные вещества и продукты будем называть реагентами. В реакционной смеси могут находиться также вещества, оказывающие влияние на ход превращений, но, в конечном счете, не претерпевающие измене-

ний, т.е. катализаторы (в некоторых случаях называемые контактами, ингибиторами), и, кроме того, индикаторы (например, изотопные) и инертные вещества (инерты), не принимающие участия в реакции. Так как наличие этих компонентов в реакционной смеси необходимо учитывать, стехиометрические расчеты иногда несколько усложняются.

Обычно применяются два способа выполнения стехиометрических расчетов: либо составляется стехиометрический баланс, либо используются уравнения, дающие возможность быстро провести некоторые стехиометрические вычисления (например, определить степень превращения).

Часто стехиометрический баланс составляется для реакции, выражающей полный ход процесса и являющейся суммой промежуточных этапов, т.е. для такой реакции, которую в действительности провести нельзя.

Если процесс состоит из обратимых реакций и известны значения их констант равновесия, расчет может быть довольно сложным.

Удобнее всего составлять баланс, определив число молей реагентов, необходимое, например, для получения 1 моль целевого продукта, или отнеся все расчеты к 1 моль основного исходного вещества. После этого по числу молей находятся количества исходных веществ и продуктов (в кг, т, м<sup>3</sup> и т. д.).

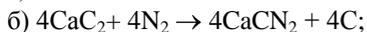
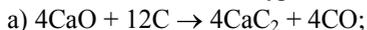
Составление стехиометрического баланса осложняется, когда поток вещества разделяется балансируемой части системы, например, движется через несколько параллельно включенных аппаратов, часть потока минует реактор (обвод) или опять возвращается в него (рецикл). Обычно в этих случаях нужно отдельно балансировать ответвления потока.

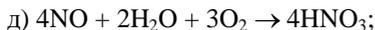
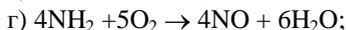
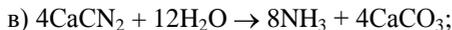
*Пример.* Рассчитать стехиометрические количества исходных веществ, теоретически необходимых для проведения процесса получения нитрата аммония по варианту 9 без регенерации CaO и использования углерода, выделяемого в реакции (б).

*Решение.* Весь вариант можно представить после суммирования отдельных стадий (а) – (е) в виде общего уравнения.

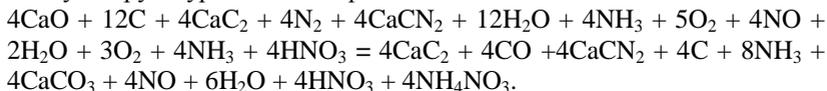
Заметим, что в реакцию (г) вступают 4 молекулы NH<sub>3</sub>, из которых затем в реакции (д) получаются 4 молекулы HNO<sub>3</sub>; в реакции (е) снова участвуют 4 молекулы NH<sub>3</sub> для нейтрализации 4 молекул HNO<sub>3</sub>. Следовательно, составить уравнения (а) – (в) нужно так, чтобы получить 8 молекул NH<sub>3</sub>.

Последовательные уравнения получения NH<sub>3</sub>.

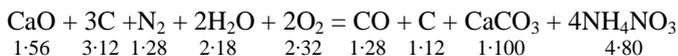




Суммируем уравнения сторонами:



Сократив одинаковые слагаемые, упорядочив полученное уравнение и разделив на 4, получаем:



(цифрами под формулами веществ обозначены произведения стехиометрических коэффициентов на относительную молярную массу). Конечно, бесполезно проводить реакцию по этому уравнению, но оно как результат стадий (а) – (е) очень удобно, поскольку позволяет быстро составить стехиометрический баланс.

Таблица 1.1. Стехиометрический баланс

	Число молей	кг/кмоль $\text{NH}_4\text{NO}_3$	кг/1000 кг $\text{NH}_4\text{NO}_3$
<i>Израсходовано</i>			
Основные исходные вещества;			
$\text{O}_2$	2	64	800
$\text{N}_2$	1	28	350
$\text{H}_2\text{O}$	2	36	450
Вспомогательные исходные вещества			
$\text{CaO}$	1	56	700
$\text{C}$	3	36	450
<i>Получено</i>			
Целевой продукт $\text{NH}_4\text{NO}_3$	1	80	1000
Побочный продукт $\text{CO}$	1	28	350
Отходы:			
$\text{CaCO}_3$	1	100	1250
$\text{C}$	1	12	150

В последнем столбце таблицы баланса приведены теоретические минимально возможные расходы исходных веществ и количества по-

лученных продуктов, рассчитанные по данным предыдущего столбца (действительным в том случае, если бы все реакции протекали до конца со стопроцентным выходом, и если бы можно было проводить процесс без потерь).

## **1.2. Технологическая концепция метода**

В точных науках правильное использование законов позволяет найти одно определенное решение. В технологии кроме общих технических принципов необходимо учитывать также экономические проблемы, обусловленные обычно местом и временем.

Во многих случаях рекомендации, основанные на различных технологических принципах, подсказывают направления технических способов проведения процесса, противоречивые с физико-химической точки зрения. Они могут привести также к решениям, которые не будут наиболее эффективными. Например, всегда нужно использовать максимально развитую поверхность контакта двух реагирующих фаз. Скорость превращения пропорциональна величине этой поверхности, и мы стремимся к возможно более быстрому проведению процессов. Однако в случае значительного теплового эффекта реакции сильно развитая поверхность контакта может привести к излишнему перегреву системы и работе при температурах, положение равновесия при которых не будет выгодным. Аналогично, применение теплового противотока может невыгодно влиять на равновесие реакции, качество получаемого продукта или стойкость конструкционных материалов оборудования. Поэтому противоток используют только тогда, когда он обеспечивает наиболее эффективный теплообмен.

Несмотря на то, что рекомендации, основанные на технологических принципах, следуют основным законам химии, физики и экономики, они содержат лишь общие указания о рациональном оформлении технологического процесса. Если учитывать только эти общие рекомендации, то оказывается, что правильное применение законов и принципов технологии не приведет к однозначному решению технологической концепции.

Создавая технологический процесс, необходимо помнить, что конечной целью является оптимальное решение с технической и экономической точек зрения. Поэтому удовлетворение спроса на определенный продукт в разных странах может осуществляться различными промышленными способами. Одно решение может быть принято в странах с высоким уровнем техники, другое — в слаборазвитой стране. Существование дешевых энергетических источников или легко дос-

тупных и богатых запасов какого-либо необходимого сырья также может иметь решающее значение в выборе как химической концепции, так и окончательной формы технологического процесса.

Чтобы процесс был наиболее экономичен, он должен проходить возможно быстрее на всех этапах при максимальном использовании сырья, минимальных затратах энергии и как можно более высоком выходе с единицы объема оборудования. Эти основные задачи приводят к установлению технологических принципов. Решение первой из них основано на проведении всего процесса при возможно более высокой движущей силе и наилучшем использовании разностей потенциалов на каждом этапе процесса. Таким образом, основополагающим будет принцип наилучшего использования разности потенциалов. Другие, менее существенные принципы — наилучшего использования сырья (исходных продуктов), наилучшего использования энергии, наилучшего использования оборудования. Необходимо также учитывать такой фактор, влияющий на скорость превращения, каким является сопротивление, оказываемое системой этому превращению. Наконец, пятый принцип — технологической соразмерности, т. е. устранения противоречий, возникающих при использовании четырех первых принципов. Применение принципа технологической соразмерности соответствует, следовательно, своего рода качественной оптимизации рассматриваемой проблемы. Последующие количественные решения принадлежат уже области системотехники и оптимизации сложных систем. Они позволяют выбрать альтернативное решение, дающее наибольшую эффективность и надежность с технической точки зрения и обоснованное экономически.

### *1.2.1. Единичные элементы процесса*

Предварительный анализ химической концепции нового метода — это первый этап оформления технологического процесса. Если такой анализ не выявляет никаких принципиальных недостатков концепции, предпринимаются исследования в лабораторном и четверть-промышленном масштабе. Цель их — исследование химических процессов, т.е. статики, кинетики и механизма процесса, определение достигаемых выходов, приблизительное установление оптимальных условий проведения основной реакции, испытание наносимых на оборудование покрытий и т.д.

Результатом работ, проводимых на данном этапе, должна быть начальная технологическая концепция метода — определение числа, последовательности и вида единичных элементов рассматриваемого процесса.

Значительно упрощая проблему, делим весь технологический процесс на единичные элементы: 1) единичные типовые процессы химической технологии и 2) единичные процессы с участием химических превращений. Во многих случаях разграничение между такими единичными процессами чисто условное. Часто единичные элементы процесса можно отнести к обеим указанным группам. Критерием классификации можно считать цель, для достижения которой предназначен единичный элемент. Если элемент процесса включает в себя химическое превращение и целью его является производство определенного продукта, то он относится к единичным химическим процессам, как, например, процесс абсорбции двуокиси углерода аммиачным раствором хлористого натрия в производстве соды по методу Сольвея. Абсорбцию же, проводимую с целью очищения отходящих газов от незначительных количеств вредных веществ, следует отнести к единичным типовым процессам химической технологии.

Можно считать, что типовые процессы химической технологии систематизированы. Для большинства из них разработаны теоретические основы и методы расчета промышленных аппаратов. Важнейшие типовые процессы химической технологии перечислены в табл. 1.2.

*Таблица 1.2. Важнейшие типовые процессы химической технологии*

Механические и гидромеханические процессы	Теплообменные процессы	Массообменные процессы
Движение потоков жидкости и газа. Осаждение. Фильтрование. Центрифугирование. Измельчение. Перемешивание. Флотация. Псевдооживление.	Нагревание и охлаждение. Выпаривание, сублимация, конденсация.	Дистилляция, ректификация. Абсорбция. Растворение, кристаллизация. Экстракция. Адсорбция. Сушка, увлажнение.

Дать единую классификацию химических процессов очень сложно. Критерии такой классификации могут быть различными. Наиболее удачным является разделение их на восемь классов, три из которых характеризуют процессы, а пять остальных — способы проведения этих процессов (табл. 1.3).

Таблица 1.3. Признаки, характеризующие единичные химические процессы

А. Признаки, характеризующие процесс	В. Характеристика способов проведения процессов
<p><i>I. Механизм реакции</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Необратимые реакции</li> <li>2. Обратимые реакции, в том числе со смещением равновесия (один из реагентов покидает систему)</li> <li>3. Автокаталитические цепные реакции</li> <li>4. Реакции первого порядка</li> <li>5. Реакции второго и более высокого порядков</li> <li>6. Простые реакции</li> <li>7. Параллельные реакции</li> <li>8. Последовательные реакции</li> <li>9. Каталитические реакции</li> <li>10. Некаталитические реакции</li> <li>11. Реакции, проходящие в диффузионной области процесса</li> <li>12. Реакции, проходящие в кинетической области процесса</li> </ol>	<p><i>IV. Характеристика термодинамических условий</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Изотермические процессы</li> <li>2. Адиабатические процессы</li> <li>3. Политропные процессы</li> </ol>
	<p><i>V. Характеристика динамики процесса</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Периодические процессы, в том числе батарейные</li> <li>2. Полунепрерывные процессы</li> <li>3. Непрерывные процессы</li> <li>4. Циклические процессы</li> </ol>
<p><i>II. Фазовая характеристика</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Гомогенные (однофазные) реакции</li> <li>2. Двухфазные реакции</li> <li>3. Гетерогенные (многофазные) превращения</li> </ol>	<p><i>VI. Характеристика движения реагентов</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Прямоточные процессы</li> <li>1. Процессы с постепенным добавлением реагентов</li> <li>2. Противоточные процессы</li> </ol>
<p><i>III. Энергетическая характеристика</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Экзотермические процессы</li> <li>2. Эндотермические процессы</li> <li>3. Автотермические процессы</li> <li>4. Процессы, энергия которых отличается от тепловой (фотохимические процессы, электрохимические процессы, процессы с использованием ультразвука, радиохимические процессы)</li> </ol>	<p><i>VII. Характеристика гидродинамики системы</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Полное перемешивание реагентов</li> <li>2. Многоступенчатое (секционированное) перемешивание</li> <li>3. Поток без перемешивания в зоне реакции</li> </ol>
	<p><i>VIII. Характеристика теплообмена</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Непрерывный теплообмен</li> <li>2. Ступенчатый теплообмен</li> <li>3. Теплообмен через стенку</li> <li>4. Непосредственный контакт теплоносителей</li> <li>5. Использование гетерофазных теплоносителей</li> </ol>

Несмотря на то, что выделено 37 признаков процессов, объединенных в восемь классов, характеристика эта неполная. Каждый процесс может быть отнесен к нескольким из 37 групп, вследствие чего техническое решение о проведении процесса может быть различным. Проблема эта настолько сложна, что общие рекомендации по проектированию таких процессов практически невозможны. Например, при термическом крекинге придется иметь дело с параллельными и последовательными, необратимыми, первого порядка, эндотермическими, в двухфазной системе, некаталитическими реакциями; превращение будет политропным, непрерывным, в потоке, без рециркуляции, с непрерывным теплообменом через стенку.

Во многих промышленных процессах комбинации указанных выше групп повторяются, и тогда возможны одинаковые или достаточно приближенные аппаратные решения. Такие процессы можно объединить следующим образом.

1. Процессы, проводимые в условиях, близких к нормальным (давление не превышает нескольких атмосфер, температура незначительно отличается от температуры окружающей среды). К ним относятся процессы в растворах (ионные реакции), диффузионные процессы с одновременной химической реакцией (адсорбция, абсорбция, десорбция, выщелачивание), многие каталитические реакции.

2. Процессы при высоких температурах, такие как горение, газификация, пиролиз (например, крекинг), реакции между твердыми телами, кальцинация, электротермия.

3. Процессы под высоким давлением, например, реакции в автоклавах с участием жидкости, каталитические реакции с участием газов.

4. Электрохимические процессы.

5. Фотохимические и биохимические процессы,

Начальная технологическая концепция основывается на лабораторных работах, относящихся к тем же этапам и той же последовательности элементов процесса. Затем учитываются технические и экономические требования. Следовательно, в схему технологической концепции нужно ввести элементы, не учтенные в лабораторных работах, такие как транспортирование материалов между аппаратами (например, с помощью транспортеров, насосов) и способы работы, понижающие стоимость проведения процесса (например, теплообмен, непрерывные операции, противоток, рециркуляция и т. д.). При этом необходимо помнить, что существует много возможностей оформления единичных элементов с помощью: 1) использования различных аппаратов и аппаратных развязок; 2) проведения процессов периодически, полунепрерывно и непрерывно; 3) применения прямотока, противотока, сме-

шанных направлений движения материалов или тепловых потоков; 4) использования перемешивания, приближенного к полному, или проведения химического превращения без перемешивания в зоне реакции; 5) составления схем с замкнутыми циклами (рециркуляция) и т. д.

В выборе определенного решения основную роль играет анализ, учитывающий технические и экономические требования. При проведении предварительного выбора решения руководствуются общими технологическими принципами.

### ***1.2.2. Принцип наилучшего использования разности потенциалов***

Скорость любого процесса можно представить в следующем обобщенном виде:

$$\text{Скорость} = k \frac{\text{Движущая сила}}{\text{Сопrotивление}}, \quad (1.1)$$

где  $k$  — коэффициент пропорциональности.

Движущая сила представляет собой разность потенциалов, характерных для данного процесса, и выражает удаленность системы от состояния равновесия.

Для массообмена в пределах одной фазы движущей силой будет разность концентраций вещества, которая выравнивается в процессе, для теплообмена — разность температур двух участков, для электрического тока — разность напряжений. Разность давлений может служить движущей силой для производства механической работы двигателем или турбиной либо использоваться для превращения этой работы в кинетическую энергию потока и т. д.

Для химической реакции движущую силу нельзя представить в виде, удобном для подстановки в уравнение (1.1). Величиной, определенным образом связанной с движущей силой, является изменение энергии Гиббса, которое как термодинамическая, а не кинетическая величина определяет только качественно направление хода реакции. Выше изменение этой энергии позволило нам рассчитать концентрации (т. е. величины, оказывающие влияние на скорость реакции), которые могут быть достигнуты системой в состоянии равновесия.

Сопrotивление в уравнении (1.1) для данного процесса также будет характеристической величиной. В случае диффузионного массообмена образуется пленка, через которую и происходит диффузия; следовательно, сопротивление будет пропорционально толщине этой пленки. При теплопередаче величина сопротивления пропорциональна толщине стенки, разделяющей две среды. В случае химической реакции в гомогенной системе с сопротивлением связана энергия активации процесса и т. д.

Обычно в каждом единичном процессе приходится иметь дело с явлениями, проходящими по разному механизму. Перенос массы может осуществляться диффузией и конвекцией, теплообмен — теплопроводностью, конвекцией и излучением; химическое превращение проходит обычно через промежуточные стадии, нередко также с различными механизмами, а стехиометрическое уравнение представляет собой баланс многих частных реакций и выражает суммарно конечный результат того, что происходит в системе. В гетерогенных системах реакция осуществляется на границе раздела фаз, ей сопутствует перенос исходных веществ из реагирующих систем в зону реакции и продуктов с поверхности контакта в глубь фаз (диффузия и конвекция). Одновременно происходит теплообмен, при котором тепловая энергия подводится в систему или отводится от нее. Все эти явления могут быть последовательными и параллельными.

Для упрощения примем, что в установившемся состоянии скорость всего превращения (когда этапы поочередно сменяются) равна скорости наиболее медленного этапа. Тогда возможными областями прохождения химического превращения будут диффузионная, кинетическая и тепловая.

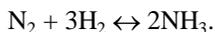
Большинство важнейших процессов химической технологии в гетерогенных системах проходят по сложному механизму, например абсорбция газов жидкостью, контактные реакции, реакции между твердым телом и жидкостью и т. д.

Предположение о том, что скорость всего превращения лимитируется наиболее медленным этапом, вводится, как указывалось выше, для упрощения. Часто более чем один фактор оказывает влияние на наблюдаемую скорость превращения.

Иногда случается, что при проведении какого-либо процесса образуются побочные разности потенциалов, не используемые в этом процессе. Тогда нужно искать возможность применения их к другим превращениям.

Методы повышения движущей силы процессов, ее использования и освоения побочных потенциалов будут обсуждаться почти постоянно при описании способов реализации трех последующих технологических принципов, в некотором смысле подчиненных принципу наилучшего использования разности потенциалов. В данном же случае ограничимся несколькими примерами.

**1.** Возможность повышения движущей силы химического превращения рассмотрим на примере реакции синтеза аммиака, проходящей в присутствии катализатора в кинетической области:



Скорость процесса в этой области, зависящая от изменения энергии Гиббса и обратно пропорциональная кинетическому сопротивлению, будет оказывать решающее влияние на скорость всего превращения. Установим сначала, какие условия проведения процесса влияют на значение энергии Гиббса, а, следовательно, и на положение состояния равновесия реакции. Связь между разностью энергии Гиббса и константой равновесия выражается уравнением:

$$\Delta G = -RT \ln K. \quad (1.2)$$

Как известно

$$K = \left( \frac{P_{NH_3}^2}{P_{N_2} P_{H_2}^3} \right)_{\text{равн}}. \quad (1.3)$$

Стехиометрическая смесь исходных веществ перед реакцией содержит 3 моль водорода на 1 моль азота. Если через  $x$  обозначить мольную долю азота, превращенного в аммиак, то в реакционной смеси после реакции будут содержаться следующие количества реагентов:  $2x$  моль  $NH_3$ ,  $(1 - x)$  моль  $N_2$  и  $3(1 - x)$  моль  $H_2$ . Общее число молей этой смеси составит  $(4 - 2x)$ . Если общее давление в системе равно  $P$ , то парциальные давления:

$$\left. \begin{aligned} P_{NH_3} &= \frac{2x}{4x - 2x} P \\ P_{N_2} &= \frac{1 - x}{4x - 2x} P \\ P_{H_2} &= \frac{3(1 - x)}{4x - 2x} P \end{aligned} \right\}. \quad (1.4)$$

После подстановки соотношений (1.4) в уравнение (1.3) и упорядочения получим:

$$K = \left[ \frac{16x^2(2 - x)^2}{27(1 - x)^4 P^2} \right]. \quad (1.5)$$

Когда система еще не достигла состояния равновесия, движущая сила в данный момент времени определяется уравнением:

$$-\Delta G = RT \left[ \overset{I}{\ln K} - \overset{II}{\ln \frac{16x^2(2 - x)^2}{27(1 - x)^4 P^2}} \right]. \quad (1.6)$$

В знаменателе выражения  $II$  общее давление возведено в квадрат. Это значит, что повышение давления приводит к уменьшению значения выражения  $II$ , а вследствие постоянства выражения  $I$  повышается разность  $I - II$ , т.е. увеличивается отдаление системы от состояния равновесия. Таким образом, с термодинамической точки зрения процесс выгоднее проводить при высоком давлении.

Рассматривая кинетические зависимости, возьмем за основу уравнение, выведенное Бентоном при предположении, что основное кинетическое сопротивление приводит к адсорбции продукта реакции на поверхности катализатора.

Упрощенное кинетическое уравнение Бентона имеет вид:

$$V_S x = k_1 S \frac{P}{ax} - k_2 S, \quad (1.7)$$

где  $V_S$  — объемная скорость отходящих газов;  $x$  — мольная доля аммиака в отходящих газах;  $S$  — полная поверхность катализатора;  $P$  — общее давление в системе;  $a$  — коэффициент, представляющий собой отношение скоростей адсорбции и десорбции аммиака на катализаторе;  $k_1$  и  $k_2$  — константы скорости образования и разложения аммиака.

Следовательно, с кинетической точки зрения процесс также выгоднее проводить при высоком давлении, поскольку  $P$  входит в числитель правой части уравнения (1.7).

2. Если на скорость превращения решающее влияние оказывает диффузия (например, реагентов через ламинарную пограничную пленку к зоне реакции), то в наиболее простом случае это явление описывается зависимостью, следующей из первого закона Фика:

$$\frac{dn}{d\tau} = DF \frac{C_c - C_0}{z}. \quad (1.8)$$

Мерой движущей силы в этом случае является разность концентраций в основной массе потока и на поверхности контакта фаз  $C_c - C_0$ . Для данной системы, характеристической величиной которой служит коэффициент диффузии, по мере увеличения разности концентраций и уменьшения толщины ламинарной пограничной пленки  $z$  возрастает число молей вещества, продиффундировавшего в единицу времени ( $dn/d\tau$ ) через поверхность  $F$ .

3. Если приходится иметь дело с теплопереносом, от которого зависит ход всего превращения (например, при подводе или отводе теплоты от слоя катализатора, когда необходимо поддерживать в узком интервале температуру реакции с большим тепловым эффектом), в наиболее простом случае зависимость подобна приведенной в предыдущем примере и следует из закона Фурье:

$$\frac{dq}{d\tau} = \lambda F \frac{t_0 - t}{z}. \quad (1.9)$$

Разность температур  $(t_0 - t)$  становится движущей силой процесса и обуславливает перенос теплоты в количестве  $q$  в единицу времени  $\tau$  через поверхность  $F$  материала, имеющего теплопроводность  $\lambda$  и толщину слоя  $z$ .

Когда теплоносителем служат топочные газы, то с учетом величины движущей силы температура их на входе должна быть: как можно более высокой, а на выходе по возможности наименьшей. Степень использования энергии в данном случае значительна. Способы достижения этого будут рассмотрены ниже, при разборе принципа наилучшего использования энергии.

**4.** Иногда процесс проходит с изменением агрегатного состояния фаз. Необходимо использовать теплоту фазового превращения. Например, в процессе ректификации теплота конденсации (при постоянной температуре) менее летучего компонента расходуется на испарение более летучего компонента.

**5.** Кроме указанных, могут существовать также другие возможности использования разностей потенциалов, позволяющие улучшить энергетический баланс производственного предприятия или комбината. Например, газы, отходящие с производства  $H_2SO_4$  контактным способом, имеют низкую температуру после прохождения башни для абсорбции  $SO_3$  концентрированной серной кислотой и для данного предприятия становятся «хвостовым» продуктом. Однако содержание воды в этих газах ничтожно (парциальное давление  $H_2SO_4$  над 95 %-й серной кислотой при температуре  $35^\circ C$  составляет только 0,0015 мм рт.ст.), и они могут использоваться для сушки различных материалов без подвода теплоты (в адиабатических условиях). В данном случае мы имеем дело с использованием разности давлений насыщенных водяных паров, которую можно рассматривать как разность потенциалов влажности.

**6.** Двуокись углерода из газа для синтеза аммиака чаще всего предварительно вымывается водой при повышенном давлении (10–30 ат). Использование относительно большой растворимости  $CO_2$  в воде (и малой растворимости  $H_2$  и  $N_2$ ) является основой этого метода. Расширение водного раствора, покидающего скруббер, в турбине позволяет нагнетать воду для повторной абсорбции  $CO_2$ . Вследствие этого нагрузка электродвигателя, приводящего в движение насос, уменьшается на 30–50 %. Вода из турбины поступает на предварительную дегазацию, поскольку отходящий газ, содержащий ~60 %  $CO_2$  и 40 %  $H_2$  и  $N_2$ , можно вернуть на первую ступень компрессора и затем в производство. Благодаря этому не только уменьшаются потери водорода, но одновременно после конечного дегазатора, помещенного на регенерационной башне, получается чистый  $CO_2$  (98–99 %). Двуокись углерода такой чистоты можно применять в производстве мочевины или сухого льда. В данном случае разность давлений используется как движущая сила для выполнения работы нагнетания.

### *1.2.3. Принципы наилучшего использования сырья*

В большинстве химических производств стоимость сырья (исходных продуктов) составляет значительную часть стоимости производства. Поэтому при проектировании технологического процесса необходимо добиться максимального использования сырья.

**Составление материального баланса.** В материальном балансе учитываются все исходные вещества, участвующие в процессе (основные, вспомогательные, инертные) и все продукты (целевые, побочные, отходы). Балансирование масс — первый этап разработки технологической концепции метода.

В отличие от материального баланса, составленного при исследовании химической концепции и основанного на стехиометрическом расчете, материальный баланс для технологической концепции более близок к действительным условиям проведения процесса.

Составляя такой баланс, необходимо учитывать все отклонения от теоретически возможного выхода (коэффициенты  $< 1$ ), возникающие по следующим причинам: 1) термодинамическим (состояние равновесия обратимых реакций не позволяет проводить основное превращение до конца); 2) кинетическим (не достигается теоретическая степень превращения вследствие низких скоростей реакции); 3) обусловленным механизмом процесса (например, побочные реакции уменьшают выход основного продукта и т. д.).

Составленный таким образом баланс еще не будет балансом промышленного процесса, но он, однако, дает возможность оценить, в какой степени рассматриваемая концепция нового метода позволит достичь наилучшего использования исходных материалов. Кроме того, такой баланс помогает установить, на каких этапах процесса следует искать других решений, обеспечивающих большую эффективность расходования сырья. Для этого кроме баланса всего процесса, составляются балансы отдельных его этапов или комплексов единичных элементов.

За основу материального баланса обычно принимается единица массы продукта (например, тонна) или количество продукта, получаемое в единицу времени (например, баланс составляется в расчете на час, сутки, год). Очень удобной формой представления баланса (особенно в сложных случаях, когда в производственной цепочке существуют обводные включения) являются диаграммы потоков (диаграммы Санкея).

Пример такой диаграммы, построенной для упрощенного материального баланса процесса получения фосфора из апатитовой руды в электрической печи, приведен на рис. 3. Баланс выполнен на 1 т продукта.

Материальный баланс

Приход		Расход	
Апатитовая руда	10 250	Фосфор	1 000
Песок	2 370	Феррофосфор	282
Кокс	1 330	Окись углерода	3 668
		Шлак	9000
<b>Всего</b>	<b>13 950 кг</b>	<b>Всего</b>	<b>13 950 кг</b>

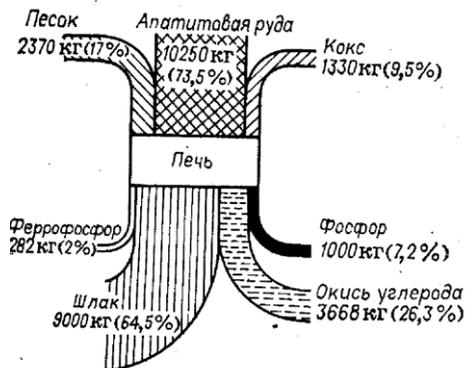


Рис. 1.1. Поточная диаграмма материального баланса (Санкея)

Ширина потоков на диаграмме Санкея пропорциональна массам материалов (или теплотам в случае теплового баланса), участвующих в процессе.

Окончательный баланс промышленного процесса составляется лишь на одном из более поздних этапов развития метода, после проведения исследований в полупромышленном масштабе или на опытном заводе и после установления производственных потерь, обусловленных несовершенством используемого оборудования (неплотности) или неточностями проведения процесса (например, неполной промывкой осадка в процессе фильтрования).

**Использование реагента в избытке (по отношению к теоретически необходимому количеству).** Для реакции типа



относительный избыток одного из исходных веществ в потоке питания можно определить следующим образом:

$$e_B = \left( C_{B_0} \frac{\nu_A}{\nu_B} - C_{A_0} \right) / C_{A_0}, \quad (1.10)$$

где  $e_B$  — относительный избыток исходного вещества В;  $C_{A_0}$ ,  $C_{B_0}$  — молярные концентрации исходных веществ А и В в потоке питания;  $\nu_a$ ,  $\nu_b$  — стехиометрические коэффициенты реагентов А и В.

Использование избытка реагента вызывается различными причинами.

1. Избыток реагента приводит к выгодному для проведения процесса смещению положения равновесия в соответствии с законом дейст-

вия масс (следовательно, данная причина имеет термодинамический характер —увеличивается движущая сила процесса).

2. Избыток реагента убыстряет реакцию, поскольку скорость ее пропорциональна концентрациям исходных веществ (кинетический фактор). Примером может служить сжигание метана в избытке воздуха, вследствие чего достигается более полное сгорание. Подобным же образом большая разность концентраций в гетерогенных системах ускоряет диффузионные процессы.

3. Использование избытка одного из реагентов выгодно воздействует на механизм процесса, приводя к образованию целевого продукта, когда возможны побочные параллельные или последовательные реакции.

Реагент, используемый в избытке, должен быть недорогим (например, воздух в приведенном выше примере). Этого правила можно не придерживаться, когда существует возможность рециркуляции избытка реагента, т.е. возвращения его в цикл после применения в предыдущем превращении. Например, так используется водород при восстановлении катализатора ( $\text{Co}+\text{ThO}_2+\text{MgO}$ ) в синтезе бензина по методу Фишера–Тропша. В результате реакции получается смесь  $\text{H}_2$ +  $\text{H}_2\text{O}$  После конденсации водяного пара избыток водорода возвращается на стадию восстановления катализатора.

Особым видом рассмотренного способа является двухступенчатое использование избытка реагентов. Такая возможность существует, если реагенты находятся в двух фазах. Реакция проводится в два этапа, причем поочередно используется избыток одного, а затем другого реагента (при стехиометрическом соотношении этих реагентов, вводимых в процесс).

Применение такого способа при большем числе ступеней дает возможность проводить типовые или химические единичные процессы в противотоке.

**Противоток веществ.** Противоток является рациональным способом максимального использования исходных веществ в гетерогенных системах (за исключением твердое – твердое), когда фазы не очень измельчены и значительно отличаются по плотности, что способствует быстрому их разделению. Если эти условия соблюдены, можно перемещать в противоположных направлениях потоки различных веществ, между которыми происходит массообмен.

Когда какой-либо компонент находится одновременно в двух контактирующих фазах, концентрация его стремится к выравниванию. Наибольшая разность концентраций достигается при противотоке. Таким образом, можно проводить многие единичные процессы, например, выщелачивание твердых тел, экстрагирование масел из семян или

экстракцию в системе жидкость – жидкость, сорбцию газов, смягчение воды, обжиг руд, промывку осадков и т. д.

Примером такой организации потоков может служить выщелачивание ценного компонента из руд. В этом случае чистый свежий растворитель также контактирует с наиболее выщелоченной рудой, а свежая руда — с наиболее концентрированным раствором.

Движущей силой процесса становится разность между концентрацией насыщения растворителя при данной температуре и концентрацией вещества, содержащегося в растворе, на определенном участке противоточной системы. Максимальное значение движущая сила имеет в начале процесса, т. е. когда подается чистый растворитель. Однако свежий растворитель приводится в соприкосновение с почти выщелаченным сырьем, в котором растворяющееся вещество находится в глубине зерна, а поверхностные его части уже полностью выщелачены. Растворитель диффундирует в глубь зерна, и, следовательно, процесс проходит медленно (кинетическое сопротивление). Чем выше разность концентраций между растворителем и раствором, контактирующим внутри зерна с растворяющимся веществом, тем быстрее проходит процесс. На другом конце противоточной системы движущая сила очень невелика, поскольку растворитель уже значительно насыщен, но он непосредственно контактирует с растворяющимся веществом, находящимся в поверхностном слое зерен сырья. В этом случае применение противотока также приводит к высокой степени извлечения и значительному насыщению растворителя. Когда число ступеней противоточного каскада  $n \rightarrow \infty$ , отдельные ступени становятся бесконечно малыми, и противоток осуществляется непрерывно (бесступенчато). Подобный противоток возможен, когда фазы разделяются, например, как в скруббере с наполнением. Абсорбирующая жидкость стекает по насадке в низ аппарата, а противотоком ей движется газ. Если тот же процесс абсорбции проводить в полочной колонне, то противоток будет ступенчатым. В каждой такой ступени осуществляется полное перемешивание для обеспечения максимальной поверхности контакта фаз, а после каждой ступени фазы разделяются.

Соотношение времен, необходимых для достижения произвольно заданной степени превращения  $\tau_k$  одной и той же реакции в противотоке и прямотоке, определится как:

$$\frac{\tau_p}{\tau_w} = \frac{2}{2 - \alpha_k} \frac{1 - \alpha_k}{\alpha_k} \ln \frac{1}{1 - \alpha_k}, \quad (1.11)$$

где  $\tau_p$  — время проведения реакции в противотоке;  $\tau_w$  — время проведения реакции в прямотоке.

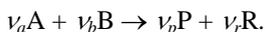
Величина  $\tau_p/\tau_w$  будет также определять соотношение необходимых длин реакторов, работающих по противоточной и прямоточной схемам.

Реакция в противотоке особенно выгодна при высоких степенях превращения, достигаемых в системе. В случае прямотока скорость реакции постепенно уменьшается до момента достижения заданной степени превращения. При противотоке же скорость реакции зависит от конечной степени превращения и приобретает максимальное значение в средней части реактора, поскольку, чем больше расстояние от центра реактора в направлении входа или выхода, тем ниже концентрация одного из компонентов (А или В), которая и оказывает решающее влияние на скорость.

**Смещение равновесия при обратимых реакциях.** Обратимую реакцию можно доводить почти до конца, если один из продуктов постоянно отводится из системы. Примером может служить реакция этерификации, проводимая между труднолетучими реагентами, во время которой отгоняется вода:



Следовательно, одновременно достигается избыток обоих исходных веществ по отношению к количеству продукта в обратимой реакции

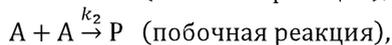
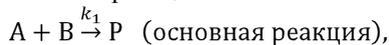


Поскольку постоянно отводится продукт R, понижается значение числителя в выражении константы скорости, а вследствие того, что  $K = const$  при постоянной температуре, в той же степени должен уменьшаться и знаменатель, т.е. исходные вещества переходят в целевой продукт P. Таким образом, возрастает отдаленность системы от состояния равновесия, а значит, достигается увеличение движущей силы процесса.

**Воздействие на нежелательные реакции.** Если кроме главной реакции в системе одновременно проходят одна или несколько побочных реакций, в которых образуется нежелательный продукт, то следует так подобрать условия, чтобы достигалась возможно большая скорость основного процесса и не возрастала скорость побочных процессов. Предположив, что потери остаются теми же, вследствие ускорения основной реакции получаем большее количество целевого продукта и полнее используем исходные вещества.

Существует много способов регулирования скоростей основных и побочных реакций. Например, с этой целью можно использовать селективный катализатор, который будет ускорять только главный процесс. Кроме того, соответствующим выбором типа реактора часто

можно воздействовать на ход реакций в системе. Так, если в системе проходят две параллельные реакции по схеме



то в реакционном пространстве нужно поддерживать большой избыток компонента В, не вступающего в побочную реакцию.

Селективность основной реакции зависит от типа реактора и способа проведения процесса. На рис. 1.2 схематично представлены шесть способов проведения реакции такого типа. Результаты расчетов для отдельных реакционных систем при предположении, что  $k_1 = k_2$ , исходные вещества вводятся в процесс в стехиометрическом для основной реакции соотношении и конечная степень превращения компонента А равна 0,95, приведены на рис. 1.2 и табл. 1.4.

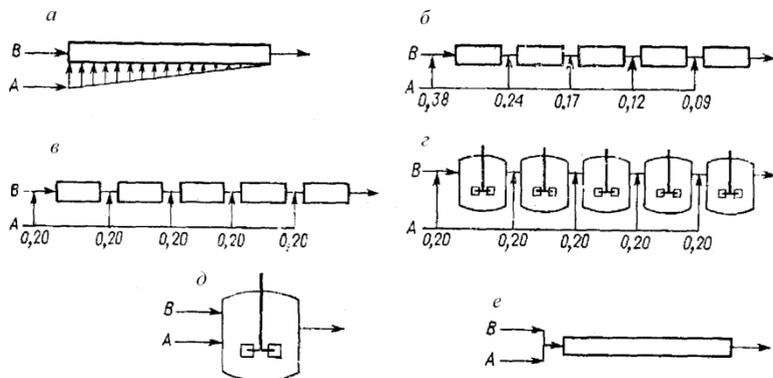


Рис. 1.2. Схемы различных систем для проведения параллельных реакций  $A + B \rightarrow P$ ,  $A + A \rightarrow X$

Выход целевого продукта будет зависеть от типа реактора, числа ступеней бокового подвода исходного вещества А, отношения концентраций компонентов А и В, поступающих в зону реакции, а также отношения констант скоростей основной и побочной реакций.

Предположение о постоянстве отношения  $k_1/k_2$  в зоне реакции равнозначно изотермическим условиям проведения процесса; кроме того,  $k_1/k_2 = const$  в том случае, когда температура в системе изменяется, но энергии активации обеих параллельных реакций одинаковы. Эффективность ступенчатого питания системы реагентом, участвующим в побочной реакции, возрастает как с повышением отношения  $k_1/k_2$ , так и числа ступеней подвода этого реагента (для систем данного типа),

Применение такого способа работы может быть обусловлено и другими причинами. Ступенчатая подача реагентов в систему выгодна также в случае сильно экзотермической реакции, когда необходимо управлять ходом процесса.

Таблица 1.4. Степень превращения и относительная производительность систем для проведения параллельных реакций  $A + B \rightarrow P$ ,  $A + A \rightarrow X$

Обозначения систем на рис. 1.2	Система	Степень превращения В при одинаковом количестве полученного продукта Р	Относительная производительность
<i>a</i>	Идеализированный трубчатый реактор с боковым подводом исходного вещества, обеспечивающим постоянную концентрацию компонента А в реакционном пространстве ( $C_A = const$ )	0,9	0,1
<i>б</i>	Оптимальный способ подвода реагента А к десятисекционному трубчатому реактору	0,875	0,16
<i>в</i>	Подвод реагента А равными порциями к пятисекционному трубчатому реактору	0,866	0,16
<i>г</i>	Подвод реагента А равными порциями к каскаду пяти кубовых реакторов.	0,856	0,12
<i>д</i>	Единичный кубовый реактор полного перемешивания	0,82	0,06
<i>e</i>	Единичный трубчатый реактор полного вытеснения	0,625	1,0

Особое значение индивидуальное регулирование скоростей основной и побочных реакций имеет для процессов органической технологии. В таких процессах кроме основной реакции, как правило, проходят различные нежелательные реакции (параллельные и последовательные), снижающие выход целевого продукта.

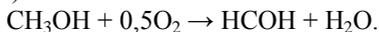
**«Замораживание» системы в состоянии, наиболее выгодном для проведения процесса.** Иногда во время проведения реакции достигаются довольно высокие концентрации целевого продукта, но в дальнейшем может произойти разложение этого продукта. В подобных случаях систему необходимо «замораживать», т. е. так снижать темпе-

ратуру процесса, чтобы скорость разложения неустойчивого продукта была очень незначительной.

«Замораживание» используется в двух случаях.

1. Обратимая эндотермическая реакция. Большие концентрации продуктов достигаются в состоянии равновесия при высокой температуре. Во время медленного охлаждения послереакционной смеси реакция проходит в противоположном направлении, и из продуктов снова образуются исходные вещества. Примером может служить реакция получения NO из азота и кислорода воздуха. Реакцию образования окиси азота необходимо проводить при возможно более высокой температуре (температура электрической дуги ~ 3000 К), после чего газы, покидающие реакционное пространство, нужно быстро охладить до 1200–1300 К. Необходимость проведения процесса таким способом была причиной разработки различных конструкций дуговых печей для синтеза NO.

2. Целевой продукт образуется в одной из промежуточных реакций и может подвергаться последующим превращениям. С термодинамической точки зрения такой продукт неустойчив в данных условиях проведения процесса. В качестве примера можно указать на окисление метанола до формальдегида при температуре 600°C в присутствии катализатора (серебро):



Конечными продуктами этой реакции являются двуокись углерода и вода. Для получения формальдегида реакцию нужно проводить до промежуточной стадии, ограничивая время контактирования реагентов с катализатором и снижая температуру послереакционной смеси. С этой целью смесь пропускают через систему холодильников, а затем в нее вводится такое количество воды, чтобы получить раствор; содержащий 30 % НСНО и 3% CH<sub>3</sub>OH. Выход достигает 82 % от теоретически возможного.

**Регенерация реагентов.** Часто в систему необходимо вводить вспомогательные исходные вещества, например, когда новый ход процесса будет более выгодным, чем при непосредственном взаимодействии основных исходных веществ, или даже единственно возможным. В этом случае нужно так организовать производственный цикл, чтобы вспомогательное исходное вещество можно было регенерировать. После регенерации это вещество возвращается в цикл, и его расход ограничивается только потерями. Такой метод широко используется в химической технологии. Отметим, что он отличается от рециркуляции реагента. Обычно возвращаемое в цикл вспомогательное исходное вещество регенерируется в результате химического превращения, а не выделяется из смеси физическими методами. Примером может слу-

жить использование концентрированной гидроокиси натрия для разложения боксита в производстве окиси алюминия методом Байера, сохранение в цикле окислов азота при башенном способе получения серной кислоты или введение в цикл аммиака при производстве соды методом Сольвея.

От регенерации вспомогательных исходных веществ можно отказаться, когда стоимость ее проведения и пополнения потерь превышает стоимость свежего сырья, а сам процесс регенерации очень трудоемок, или когда основной продукт стоит дорого, а цена используемого вспомогательного вещества низкая.

**Использование побочных продуктов и отходов.** Тенденция использования побочных продуктов и отходов обусловлена экономикой производства. Однако часто полезный побочный продукт образуется в слишком малом количестве или концентрация этого продукта в смеси настолько низкая, что его трудно выделить.

Наиболее выгодные условия использования побочных продуктов и отходов существуют на большом предприятии, выпускающем взаимосвязанную продукцию. Примером может служить производство аммиака и карбамида на одном заводе. Водород, необходимый для синтеза аммиака, можно получить паровой конверсией природного газа. Двуокись углерода вымывается в скруббере жидким абсорбентом под давлением 10–30 ат, а водород направляется в установку синтеза аммиака. Абсорбент, отходящий из скруббера, расширяется, выделяя  $\text{CO}_2$  (побочный продукт), который можно использовать в производстве карбамида — ценного искусственного удобрения.

Экономически обосновано объединение производств азотистых и органических соединений на одном предприятии, когда в качестве сырья используется природный газ, который перерабатывается в синтез-газ таким образом, что одновременно получается ацетилен.

#### ***1.2.4. Принцип наилучшего использования энергии***

**Энергетический баланс.** Эффективность расходования энергии в процессе устанавливается с помощью энергетического баланса.

Разрабатывая технологическую концепцию процесса, мы имеем еще слишком мало данных для составления полного энергетического баланса. Поэтому ограничимся предварительным тепловым балансом, отнеся его к тем же единицам, которые использовались для составления материального баланса.

Если при проведении процесса энергия может подводиться или отводиться в иной форме, чем тепловая, то в общем балансе она учитывается с помощью соответствующих эквивалентов теплоты.

В таком балансе количества энергии, подведенные к системе и полученные в результате превращений (приход тепла), должны быть равны количествам, которые расходуются на проведение отдельных этапов процесса, преобразовываются в другие виды энергии и отводятся из системы материальными потоками, а также теряются в окружающую среду (расход тепла).

Для составления теплового баланса необходимо знать удельные теплоемкости участвующих в процессе веществ, тепловые эффекты химических реакций (из термохимических расчетов) и теплоты фазовых преобразований.

На основании указанных термохимических данных, химического состава и количеств веществ в отдельных потоках можно рассчитать тепловые доли различных превращений, представляющие собой статьи прихода и расхода баланса отдельных этапов процесса и, в конечном счете, всего технологического процесса,

Тепловые потери определяются по известным из инженерной химии формулам, однако поскольку они зависят от условий проведения процесса (потоков, материалов, толщины стенок, изоляции), в предварительном балансе используются ориентированные их значения, установленные по данным изучения аналогичных реализованных процессов. Подобные же ориентировочные значения принимаются для расходов электроэнергии (например, на перемешивание, транспорт и т. д.), которые тоже нужно учесть. Более точный баланс, в котором используются реальные значения тепловых потерь и расходов электроэнергии, можно составить, пользуясь данными о работе полупромышленных или опытных установок,

Удобной формой представления тепловых балансов являются диаграммы того же типа, что и используемые для материальных балансов.

**Регенерация теплоты.** Часто на каком-нибудь этапе процесса получают вещества с высокой температурой, но имеются и другие вещества, которые нужно подогреть. В этом случае для подогрева можно использовать теплоту горячих веществ. Регенерация осуществляется тремя способами: непосредственным теплообменом (т.е. теплоотдачей соприкосновением), через теплообменную поверхность (теплопередача) или с помощью тепловых агентов.

**1.** Непосредственный теплообмен используется в тех случаях, когда вещества (горячие и холодные) разделяются, т.е. находятся в разных фазах. С такими системами приходится иметь дело при работе боль-

шинства непрерывнодействующих печей. Твердый материал, загруженный в печь, подогревается уходящими дымовыми газами или газообразными продуктами реакции, а воздух, необходимый для сжигания топлива, или газовые реагенты, движущиеся в зону реакции, отбирают теплоту от материала, сгоревшего в печи (рис. 1.3). Примеров использования подобных систем очень много.

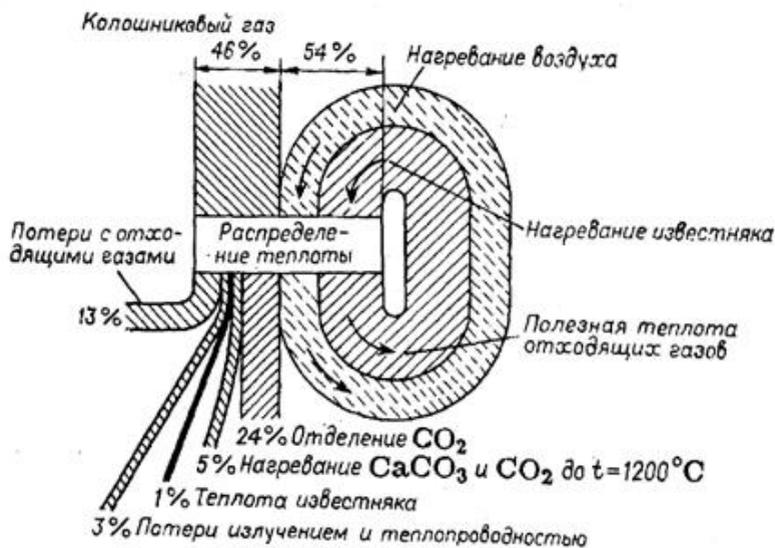


Рис. 1.3. Поточная диаграмма теплового баланса печи для обжига известняка

2. Во многих случаях использовать теплоотдачу соприкосновением невозможно (например, две смешивающиеся жидкости, вещества, вступающие в химическую реакцию, и т.д.). Тогда регенерация теплоты проводится с помощью теплопередачи через поверхность разделительной стенки; применяется также тепловой агент, имеющий большую тепловую емкость и находящийся в ином агрегатном состоянии, чем нагретое и холодное вещества.

Можно привести множество примеров использования теплопередачи для регенерации теплоты. Так, газы, уходящие из зоны каталитической реакции, проводимой при высокой температуре, отдают теплоту через поверхность теплообмена исходным газообразным веществам, направляемым в реактор.

3. Иногда теплопередача соприкосновением и теплопередача через стенку невозможны. Например, при теплопередаче температура в теп-

лообменнике может быть слишком высокой или обменивающиеся теплотой среды могут оказывать сильное коррозионное воздействие на материал стенки. В этих случаях возникают трудности выбора конструкционного материала с большой термической и коррозионной стойкостью, обладающего одновременно высокой теплопроводностью. Кроме того, теплопередача может быть экономически невыгодной, если нужно устанавливать большие, а, следовательно, и дорогостоящие теплообменные поверхности.

В этих случаях часто удается избежать трудностей, применяя твердые тепловые агенты. На их использовании основана работа тепловых регенераторов. Сначала горячие газы нагревают массу твердого заполнения камеры регенератора, а в следующем этапе цикла заполнение отдает аккумулированную теплоту газам, которые необходимо нагреть.

Регенерацию теплоты можно проводить непрерывным способом, когда в качестве теплового агента применяется, например, твердый материал небольшого зёрнения, жидкость или даже газ, движущиеся в системе и поглощающие периодически теплоту горячего носителя, а затем отдающие ее материалу, который нужно нагреть. Жидкость тоже может служить тепловым агентом в непрерывных процессах теплообмена. Например, вода используется для этой цели в процессе выделения окиси углерода из синтез-газа (конверсия CO водяным паром).

#### **Направления относительного движения тепловых потоков.**

Разбирая принцип наилучшего использования потенциалов, мы отметили, что обычно необходимо добиваться возможно большей отдачи теплоты от нагретого вещества. Достижение этого зависит от направлений относительного движения веществ, обменивающихся теплотой. Как и в случае массообмена, рассмотренного в рамках принципа максимального использования исходных веществ, тепловые потоки могут двигаться в одинаковом (прямоток) или противоположных (противоток) направлениях. Возможно также движение потоков под некоторым углом относительно друг друга. С этими видами движения приходится иметь дело как при прямом и косвенном теплообмене, так и при использовании тепловых агентов.

Используя прямоточное движение, можно в предельном случае достигнуть такой конечной температуры потоков, которая получалась бы при их смешении. В случае прямотока после окончания процесса теплообмена всегда более холодный поток не может достигнуть температуры, превышающей температуру горячего. Применение противотока дает такую возможность, поскольку получается большая разность температур. Теоретически температура охлаждающегося потока на выходе из аппарата может быть почти равна температуре холодного

потока на входе в систему, но тогда резко снижается движущая сила процесса. Аналогично можно было бы добиться приближенного выравнивания температур и на другом конце аппарата, где входит горячей и выходит нагретый потоки.

Применение противотока не всегда возможно. Иногда при выборе способа проведения процесса решающее значение имеет качество получаемого продукта (теплообмен в противоточной системе может быть слишком интенсивным и привести к нежелательным; изменениям в продукте, например при сушке); в некоторых случаях организовать противоточное движение трудно из-за конструктивных особенностей аппарата. Тогда используется смешанный ток, и эффект будет средним между эффектами, достигаемыми в прямо- и противоточных процессах.

Иногда не удается добиться намеченной цели при однократном проведении процесса теплообмена. Например, при выпаривании двухкомпонентной смеси получаются, правда, пары, обогащенные более летучим компонентом, но только многократное повторение этой операции в ректификационной колонне приводит к разделению компонентов.

Аналогично, сильно сжатый газ, расширяясь при постоянной энтальпии (с помощью дроссельного клапана), охлаждается вследствие производства внутренней работы (эффект Джоуля – Томсона), однако достигаемое таким образом снижение температуры слишком мало, чтобы добиться полного сжижения газа. Неоднократное повторение сжатия и расширения с использованием при этом эффективного противоточного теплообменника позволяет использовать данный процесс в промышленности.

**Многократное использование теплоты.** Часто применяемое многократное использование теплоты дает возможность улучшить тепловой баланс установки, так как энтальпия 1 кг пара, покидающего систему, несколько ниже энтальпии пара, расходуемого на нагревание. Возникает, однако, проблема снижения температуры, поскольку «вторичная» теплота поступает в процессе с ее носителем, температура которого ниже температуры системы; следовательно, при непосредственном возвращении такого теплоносителя нельзя нагреть систему, из которой он вышел. Поэтому его можно применять либо в том случае, когда имеются менее нагретые потоки, либо предварительно увеличить температуру дополнительным подводом энергии (например, в турбокомпрессоре).

При многократном выпаривании используется теплота вторичных паров, полученных в предыдущих аппаратах (рис. 1.4). Таким образом удается повысить эффект использования теплоты пара, поступающего на первую ступень системы (первичный пар).

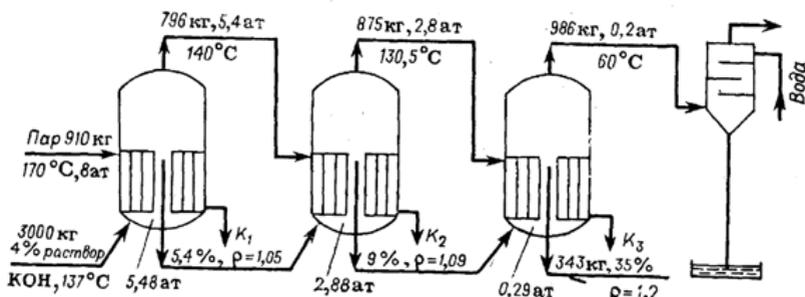


Рис. 1.4. Схема многокорпусной выпарки.

Недостатками рассмотренной системы являются необходимость установки больших греющих поверхностей, выполняемых часто с учетом коррозионной стойкости из специальных марок стали, и высокая температура проведения процесса в первом аппарате, что не рекомендуется для веществ, подвергающихся в таких условиях распаду (как, например, в пищевой промышленности). Этого можно избежать, применяя турбокомпрессор, т.е. адиабатически сжимаемая пары, вследствие чего их температура возрастает при небольшом расходе механической работы. Таким образом, теплота вторичного пара (несколько меньшая, чем в случае первичного пара) может быть снова использована для дальнейшего концентрирования того же раствора, из которого они образовались.

К примерам многократного использования теплоты следует отнести дистилляционную колонну, в которой многократное прямое выпаривание проводится на каждой тарелке с использованием теплоты конденсации высококипящего компонента (испаряется компонент с более низкой температурой кипения). Если в этом случае применяется тепловой насос (термокомпрессор) для сжатия паров, уходящих с верха колонны, то температурный потенциал их повышается, и они могут быть использованы дополнительно для нагревания колонны.

### **Рациональное проведение процессов при высокой температуре.**

Проведение процессов при повышенной температуре сопряжено с потерями тепловой энергии в окружающую среду. Необходимость максимального снижения таких потерь вполне понятна, и обычно нужно добиваться того, чтобы температура внешней поверхности аппарата мало отличалась от температуры окружающей среды. Этого можно достигнуть применением соответствующей внешней изоляции или подачей холодных исходных веществ внутрь реактора через пространство, прилегающее к стенке аппарата. Иногда можно снизить тепловые

потери, проводя процесс соответствующим образом. Например, если горячий газ транспортируется из удаленного источника и перед потреблением смешивается с холодным газом, то при желании уменьшить тепловые потери во время транспортирования выгоднее проводить смешение в месте отбора горячего газа (если, конечно, этому не препятствуют другие причины). Температура транспортируемых газов снижается, и, следовательно, уменьшаются тепловые потери. При передаче больших количеств горячих газов по трубопроводу можно сохранить скорость потока, но увеличить диаметр трубопровода, или не изменять этот диаметр, но повысить скорость потока. В первом случае возрастает стоимость единицы длины трубопровода, в другом — количество энергии, расходуемой на транспортирование. Следовательно, нужно найти оптимальное решение.

Во многих сильно экзотермических процессах необходимо отводить очень большие количества теплоты, чтобы процесс проходил в условиях выгодного отдаления от состояния равновесия или чтобы избежать перегрева каталитической массы, которая теряет активность при излишне высоких температурах. Создание аппарата, в котором проходит экзотермическая реакция, в виде котла, производящего пар для нужд завода, позволило рационально использовать отводимую теплоту.

В современных установках рассмотренный нами способ применяется довольно часто, например, в процессе получения серной кислоты контактным методом (используется теплота сгорания серы до  $\text{SO}_2$ ), при синтезе аммиака, при каталитическом окислении аммиака до окиси азота, при сжигании сероводорода по методу Клауса и т.д. Такой способ приводит не только к рациональному использованию тепловой энергии, но в некоторых случаях и к наиболее выгодному для повышения выхода реакции распределению температур (синтез аммиака, сгорание сероводорода).

Если в системе, состоящей из теплообменника и реактора, полное количество теплоты, необходимое для нагревания газов до заданной температуры перед входом в реактор, поставляется газом, покидающим реакционное пространство, то такая система будет автотермической. Работа в автотермическом режиме более выгодна, исходя из баланса тепловой энергии. В таком режиме работают, например, реакторы установок для синтеза аммиака, метанола, конверсии  $\text{CO}$ , некоторые типы контактных реакторов для производства серной кислоты и т.д.

Одним из параметров, влияющих на производительность реактора, является интенсивность потока газа на входе, или так называемая нагрузка реактора. При определенной нагрузке система находится в тепловом равновесии и реактор работает в установившемся режиме, т.е.

температуры не изменяются во времени. Если нагрузки такие, что проходящее через теплообменник полное количество газов имеет на выходе слишком высокую температуру (т.е. теплообменник имеет некоторый запас поверхности), то автотермичность можно обеспечить, направляя часть газов без нагревания через боковой отвод с таким расчетом, чтобы температура осталась постоянной. При возрастании нагрузка может достигнуть значения, при котором боковой отвод нужно будет отключить; данная нагрузка является максимально допустимой и одновременно наиболее эффективной. Дальнейшее повышение интенсивности потока газов приводит к снижению их температуры на входе в реакционное пространство. Уменьшение температуры на входе обуславливает понижение температуры на выходе. Это значит, что газ, проходящий через теплообменник, будет нагреваться слабее, следовательно, температура снова уменьшится и т.д. В этом случае реактор может «погаснуть».

Обычно возрастающее сопротивление потоку газов через систему ограничивает возможности повышения нагрузок раньше, чем реактор «погаснет». Дополнительным ограничением слишком больших нагрузок может быть необходимость обеспечения правильного времени контакта реагентов с катализатором. В тех случаях, когда активность катализатора снижается по мере его участия в процессе, необходимо определить максимальную нагрузку, при которой система работает еще в автотермическом режиме.

С аналогичной проблемой приходится встречаться при проведении реакции в любом реакторе без теплообменника. Количество теплоты, выделяемой или поглощаемой во время реакции, пропорционально количеству реагирующих исходных веществ, а, следовательно, объему аппарата; количество же теплоты, отводимой или подводимой извне, пропорционально поверхности аппарата. Поскольку с увеличением размеров аппарата объем для конверсии метана увеличивается пропорционально третьей степени линейного размера, а поверхность – второй степени, то чем больше аппарат, тем меньшее количество участвующей в обмене теплоты приходится на единицу объема аппарата. С повышением объема системы условия ее работы будут более близки к адиабатическим. В небольших аппаратах легче достигаются изотермические условия проведения процесса. Отсюда следует, что нужно использовать большие аппараты, когда необходимо ограничить внешний теплообмен, и меньшие, когда теплообмен с окружающей средой должен быть интенсивным.

**Проблема экономии энергии.** Наиболее часто данная проблема возникает при использовании механической энергии в единичных процессах.

Если рассматривать, например, процесс измельчения твердых тел до частиц (зерен) определенного размера, то может оказаться, что некоторая часть материала, поступающая в мельницу, уже имеет заданную величину. Измельчение таких зерен будет связано с излишними затратами энергии и, кроме того, приведет к некондиционному продукту. Следовательно, зерна требуемых размеров перед направлением материала на измельчение необходимо отделить.

### *1.2.5. Принцип наилучшего использования оборудования*

Разрабатывая технологическую концепцию метода, мы стремимся получить определенный продукт при минимальных экономических затратах. Поскольку стоимость оборудования и его амортизации учитывается в стоимости продукта, нужно реализовать технологическую концепцию с наименьшими капиталовложениями. Этому может способствовать достижение максимальной величины продукции, получаемой с единицы объема аппарата, т.е. наилучшее использование оборудования. Сформулированная таким образом цель относится как к технологии (максимально возможные скорости процессов в аппаратах), так и к организации производства (исключение или уменьшение простоев аппаратов).

**Применение рециркуляции.** Разбирая принцип наилучшего использования исходных веществ, мы искали возможности возвращения в процесс избытка реагентов. Возврат применяется также во время проведения процесса при стехиометрическом соотношении исходных веществ. Известно, что скорость превращения резко уменьшается при приближении к состоянию химического равновесия; следовательно, часто приходится прерывать процесс в значительном удалении от состояния равновесия, отводя из реактора смесь реагентов, содержащую непрореагировавшие исходные вещества. Это обеспечивает большую движущую силу процесса и, таким образом, увеличивает выход продукта в расчете на единицу объема аппарата. Из смеси, отводимой из реактора, отделяются продукты, а исходные вещества возвращаются в процесс. В промышленности этот способ обычно применяется, когда положение равновесия не очень выгодно и можно легко выделить продукт из реакционной смеси. Типичным примером такого проведения процесса может служить синтез аммиака из азота и водорода при высоком давлении. Степень превращения исходных веществ во время

одного прохода реагентов через реактор невысока (содержание аммиака в газах 8–25 %), применение же рецикла исходных веществ, не подвергшихся превращению, позволяет значительно увеличить суммарную степень превращения. Чем интенсивней будет возврат реагентов, тем большее количество аммиака будет получено в единицу времени с единицы объема аппарата. Существует, однако, максимум количества аммиака, полученного с 1 м<sup>3</sup> аппарата в единицу времени, поскольку количество неконденсированного аммиака, остающееся в газах, пропорционально их объемной скорости.

В подобной же аппаратуре получают метанол и изобутанол. Непрореагировавшие исходные вещества тоже возвращаются в цикл.

Рециркуляцию можно использовать, если нужно уменьшить скорость очень быстрых экзотермических превращений. Возврат значительной части продуктов в реакционную систему понижает концентрацию исходных веществ в потоке питания и предотвращает взрыв в ходе реакции.

При рециркуляции в системе могут накапливаться не принимающие участия в реакции инертные компоненты — примеси в потоке питания или вещества, образующиеся в результате побочных реакций.

Примером процесса, в котором в реакционную систему вводятся инертные вещества, может служить синтез аммиака. Вместе с азотом в систему поступает аргон, а также другие инертные газы и метан, которые не конденсируются с аммиаком и накапливаются в рециркулирующей газовой смеси. Это приводит к снижению парциальных давлений азота и водорода, реагирующих на катализаторе, и, следовательно, уменьшает скорость реакции. Из этого следует, что примеси и инертные вещества после превышения некоторой допустимой их концентрации необходимо удалять из рециркуляционного потока. Для исключения возможности накопления этих нежелательных веществ в системе после каждого цикла нужно отводить, по крайней мере, такое их количество, которое за то же время вводится в систему или образуется в результате превращения. Величина потока выводимых из системы примесей определяется на основании балансных расчетов.

В некоторых случаях проводится регенерация исходных веществ или ценных побочных продуктов, отводимых из рециркулирующей смеси. Решающее значение при этом имеют экономические факторы, требования о предотвращении загрязнения атмосферы и т. д.

Возврат используется не только в системах с химической реакцией. Так, на мельницу снова поступает недостаточно измельченный материал после отделения зерен заданной величины. Возвращаться в систему может также теплота: например, в случае реактора, соединенного

с теплообменником, теплота горячих продуктов реакции передается исходным веществам, направляемым в реакционное пространство.

**Уменьшение сопротивлений массо- и теплопереносу, лимитирующих скорость превращения.** В некоторых случаях скорости массо- или теплопереноса через границу раздела фаз определяют скорость превращения. Ламинарная пограничная пленка оказывает основное сопротивление этим процессам, поскольку перенос масс через нее осуществляется только диффузией, а перенос теплоты — теплопроводностью, т. е. относительно медленно. За этой пленкой перенос массы и теплоты происходит главным образом конвекцией. Чем больше толщина пограничной пленки, тем выше сопротивление. В связи с этим наименее выгоден ламинарный режим движения потоков в системе. При высокой турбулентности потоков толщина пограничной ламинарной пленки меньше и, следовательно, легче и более быстро осуществляется транспорт массы и теплоты в другую фазу.

Например, быстрой газификации твердого топлива в регенераторах достигают, увеличивая толщину слоя топлива и скорость потока газа через этот слой. Можно также значительно интенсифицировать процесс сгорания угольной пыли, повышая турбулентность воздушной смеси.

Нагревание в быстроточных теплообменниках интенсифицируется при разделении труб на секции и прохождении жидкости с большой скоростью последовательно через эти секции (вместо одновременного медленного течения через все трубы).

Растворение твердого вещества в жидкостях происходит тем быстрее, чем интенсивнее перемешивается суспензия. Когда вся суспензия вращается вместе с мешалкой, эффективного перемешивания не достигается. Поэтому приходится организовывать взаимное движение фаз как при экстракции в системе жидкость – жидкость или при абсорбции газа жидкостью. Для эффективного проведения этих процессов используются пульсационные колонны, абсорбционные пенные аппараты или скрубберы Вентури.

В пенных аппаратах интенсификация процесса основана на одновременной турбулизации потоков жидкости и газа, большом развитии и непрерывном обновлении поверхности контакта фаз. В таких условиях проведения процесса достигаются высокие значения коэффициентов тепло- и массообмена. В таких аппаратах значения коэффициента теплопередачи во много раз выше, чем в обычных башенных холодильниках.

Необходимо отметить, что повышение турбулентности в системе обеспечивает ускорение превращения только вследствие уменьшения сопротивления процессам диффузии, но не влияет на величину дви-

жущей силы превращения. Поэтому нецелесообразно увеличивать турбулентность, когда превращение проходит в кинетической области, Подобным же образом на скорость подвода (отвода) массы и теплоты в зону реакций влияет увеличение поверхности контакта фаз в гетерогенной системе. В этом случае количество диффундирующего вещества или переносимой теплоты пропорционально величине межфазной поверхности. В качестве примеров развития поверхности соприкосновения фаз могут служить; измельчение твердых материалов, подвергаемых выщелачиванию; применение пористых контактных масс для повышения поверхности соприкосновения реагентов с катализатором; использование насадки (например, колец Рашига) для увеличения поверхности, смачиваемой абсорбентом в процессе абсорбции газов жидкостью; применение пенных аппаратов, позволяющих значительно интенсифицировать развитие межфазной поверхности, и т. д.

Существуют, однако, случаи, когда не следует добиваться максимально возможного развития поверхности контакта фаз (например, во избежание перегрева веществ, чувствительных к воздействию высоких температур).

**Уменьшение кинетических сопротивлений химической реакции.** Для максимального использования аппаратуры, в которой процесс проходит в кинетической области, нужно стараться снизить сопротивление химической реакции. Проявлением этих сопротивлений является энергетический барьер, определяющий энергию активации. Понижение энергетического барьера, а, следовательно, и уменьшение энергии активации позволяет ускорить реакцию. Этого можно достичь изменением пути перехода исходных веществ к продуктам, т. е. изменением механизма реакции. Наиболее часто в этих целях используются катализаторы.

Следует отметить, что воздействие твердого катализатора не всегда ограничивается снижением энергии активации  $E$  превращения. Известны случаи, когда применение катализатора приводит к увеличению предэкспоненциального множителя, что также обуславливает повышение скорости реакции.

Скорость реакции возрастает экспоненциально с повышением температуры, т. е. очень быстро. В связи с этим реакцию в кинетической области следует проводить при максимально возможной температуре, ограничиваемой, однако, перемещением положения равновесия экзотермических реакций в нежелательном направлении, трудностями подбора конструкционных материалов и возможностями изменения механизма процесса. Когда скорость процесса лимитируется диффузией, повышение температуры не дает заметного эффекта.

**Организация работы технологической системы.** При проектировании технологического процесса необходимо определить, как он будет проводиться — периодически или непрерывно. Проведение процесса непрерывным способом исключает перерывы в работе аппарата при выполнении основной операции, для которой он предназначен, и затраты времени на вспомогательные операции (загрузка, разгрузка, чистка аппарата и т.д.), характерные для периодического процесса. Кроме того, в периодических процессах возможны дополнительные затраты времени, обусловленные необходимостью согласования рассматриваемой операции с предыдущими и последующими этапами технологической цепочки.

Непрерывный способ работы позволяет получить большее количество продукта с единицы объема аппаратуры. Другие преимущества непрерывного метода производства — исключение потерь теплоты на периодическое нагревание аппаратов и большая однородность продукта. Необходимо также отметить более легкий контроль непрерывных процессов и возможность их автоматизации.

Существует тенденция проектирования новых технологических процессов как непрерывнодействующих систем. Однако возможны процессы, проведение которых непрерывным способом неэкономично или даже невозможно.

Точные правила выбора одного из двух указанных способов, работы отсутствуют, но некоторые указания для такого выбора, дать можно.

Непрерывнодействующая система требует применения технологической цепочки, состоящей из большого числа аппаратов, каждый из которых предназначен для проведения предварительной, основной или конечной операции. При малотоннажных производствах с изменяющимся ассортиментом продуктов, характерных для некоторых отраслей промышленности, это вызывает удорожание производства и приводит к более низкому экономическому эффекту, чем при периодическом способе работы.

Реакторы периодического действия более «гибки», чем непрерывнодействующие, и в них нетрудно подобрать соответствующие условия проведения определенных реакций. Используются они также, когда процесс еще не освоен полностью, или когда продукт может подвергнуться внезапному «отравлению», как в биохимических процессах (тогда теряются меньшие партии материала), или когда скорость основного превращения мала и время для его проведения велико. В последнем случае время, затрачиваемое на предварительные и конечные операции в системе периодического действия, не очень заметно отражается на общей производительности установки.

Многотонажные, быстро проходящие процессы должны проводиться непрерывным способом. Реакции в газовой фазе осуществляются, как правило, непрерывно или полунепрерывно.

Выше уже говорилось о том, что для наилучшего использования оборудования необходимо согласовывать единичные операции. В периодическом процессе работа системы должна основываться на таком выборе продолжительности операций и производительности, чтобы аппараты не имели простоев. Другими словами, количество материалов, переработанное в каждом аппарате в единицу времени, должно быть одинаково. Если время проведения смежных операций различно, нужно устанавливать межоперационные сборники.

В технологической цепочке, состоящей из периодически работающих аппаратов, расходы исходных веществ, воды, воздуха, греющего пара, электроэнергии, а также необходимость контроля и обслуживания непостоянны. Поэтому может возникнуть такая ситуация, при которой в определенный период расходы будут минимальны, а в другой период потребление возрастет до максимума (период пик). Такие периоды невыгодны экономически и затрудняют работу всего предприятия, включая силовую установку, котельное отделение и т. д.

Таким образом, из цикла производства должны быть исключены одновременные периоды пиковых операций, что обеспечивает более или менее равномерное потребление энергии, материалов и т. п.

Очень часто для проведения процессов в системе твердое тело–жидкость, когда нельзя перемещать (транспортировать) твердую фазу, используется батарея аппаратов. С этой целью один большой аппарат, работающий периодически, заменяется определенным числом меньших аппаратов, в каждом из которых проводится отдельная операция. Число заменяющих аппаратов, по крайней мере, должно быть равно числу операций, из которых состоит процесс. На основе анализа времени проведения отдельных операций устанавливается продолжительность наиболее быстрой из них, а для остальных операций выбирается либо такое же время, либо кратное ему. Цикл работы каждого аппарата батареи смещен относительно циклов соседних аппаратов на период, равный времени самой быстрой операции. Все операции проводятся в аппаратах одновременно. В результате батарея работает непрерывно, хотя отдельные аппараты действуют периодически. При этом возможен противоток материалов. В такой системе достигается непрерывное потребление энергии, исходных материалов, равномерная загруженность обслуживающего персонала, постоянный отбор продуктов.

*Пример.* Процесс экстрагирования твердого материала растворителем состоит из четырех последовательных операций: наполнения экс-

трактора (30 мин), экстрагирования (120 мин), промывки экстрагированного материала (60 мин) и опорожнения экстрактора (30 мин). Время полного цикла экстрагирования составляет 240 мин, время же наиболее короткой операции – 30 мин. Процесс следует проводить в  $240:30 = 8$  экстракторах, работающих последовательно: один экстрактор — наполнение (Н), четыре экстрактора — экстрагирование (Э), два экстрактора — промывка (П), один экстрактор — опорожнение (О). Каждые 30 мин операции меняются: в первом наполненном аппарате начинается экстрагирование, в пятом — промывка, в седьмом — опорожнение, в восьмом — наполнение.

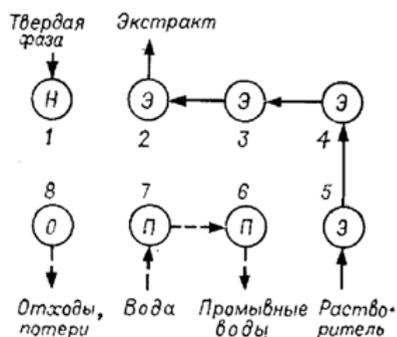


Рис. 1.5. Схема движения реагентов в батарее экстракторов

в системе непрерывного действия не возникают, так как аппараты имеют постоянную нагрузку. Межоперационные сборники в этом случае могут применяться как аварийные емкости для отвода реагентов.

Схема движения реагентов представлена на рис. 1.5 и табл. 1.5. Таким образом, в батарее аппаратов процесс проводится непрерывно и исключаются периоды пиковой нагрузки (в одних и тех же аппаратах постоянно проводятся одинаковые операции).

Согласованность работы оборудования при проведении непрерывного процесса основана на правильном выборе величины аппаратов. Периоды пик в

Таблица 1.5. Последовательность операций в отдельных аппаратах батареи

Номер экстрактора	Время, мин							
	30	60	90	120	150	180	210	240
1	Н	Э	Э	Э	Э	П	П	О
2	Э	Э	Э	Э	П	П	О	Н
3	Э	Э	Э	П	П	О	Н	Э
4	Э	Э	П	П	О	Н	Э	Э
5	Э	П	П	О	Н	Э	Э	Э
6	П	П	О	Н	Э	Э	Э	Э
7	П	О	Н	Э	Э	Э	Э	П
8	О	Н	Э	Э	Э	Э	П	П

### *1.2.6. Принцип технологической соразмерности*

Применение рассмотренных выше принципов наилучшего использования разности потенциалов, сырья, оборудования и энергии часто приводит к противоречивым результатам. В этих случаях приходится искать компромиссное решение.

Противоречия, обусловленные совместным применением технологических принципов, могут иметь физико-химический и экономический характер. Определение оптимальных условий проведения процесса — трудная задача, требующая точного математического описания явлений и решения полученной при этом системы уравнений. Здесь же мы коснемся только качественной стороны наиболее часто встречающихся противоречий и рассмотрим их с технологической точки зрения.

Необходимость применения принципа технологической соразмерности может быть показана на примере процесса абсорбции газа жидкостью с одновременной сильно экзотермической реакцией. В этом случае развитие поверхности соприкосновения фаз, к которому обычно стремятся при проведении процессов такого типа, целесообразно только в определенных пределах. При возрастании скорости абсорбции увеличивается количество теплоты, выделяемой в единице объема аппарата, а, следовательно, повышается температура системы. Вследствие увеличения температуры возрастает равновесное давление газа над жидкостью и уменьшается движущая сила процесса. Таким образом, процесс будет протекать вдали от состояния равновесия. Скорость абсорбции возрастает с развитием поверхности соприкосновения фаз и увеличением температуры. Резюмируя, можно утверждать, что существует оптимальная величина поверхности соприкосновения фаз для определенных условий отвода теплоты из системы при данном тепловом эффекте реакции, обеспечивающая максимальную скорость процесса.

Другим примером может быть процесс сушки легко разлагающихся материалов непосредственно горячими газами. В этом случае проведение процесса в противотоке невозможно, поскольку высушиваемый материал, при соприкосновении с очень горячими газами может подвергнуться нежелательным превращениям. Сушку необходимо проводить в прямотоке, чтобы газы с более высокой температурой контактировали с исходным влажным материалом.

Аналогично, нельзя использовать слишком большие скорости взаимного движения фаз, поскольку пропорционально им возрастают сопротивление и мощность, затрачиваемая на перемещение потоков. Выше некоторой скорости движения выгоды увеличения коэффициен-

тов тепло- и массообмена уже не компенсируют избыточную стоимость перемещения потоков.

Стремление к быстрому проведению обратимых экзотермических реакций путем повышения температуры также приводит к удалению от состояния равновесия. Во избежание этого приходится делить реакционное пространство на части (например, слой катализатора — на многие более тонкие слои). Сначала, когда концентрация исходных веществ велика (мала степень превращения), реакция проходит быстро, приближаясь к состоянию равновесия, соответствующего высокой температуре в этой части аппарата (выгодной по скорости превращения и невыгодной по положению равновесия). В несколько этапов снижают температуру проведения процесса, достигая более выгодного положения равновесия (вследствие чего возрастает движущая сила), но скорость превращения при этом уменьшается как в результате понижения концентрации исходных веществ по мере прохождения реакции, так и в результате уменьшения температуры. Так как прирост степени превращения понижается в последовательных секциях, число их не должно быть слишком велико.

Секционирование реактора выгодно, когда на последовательных этапах превращения нужно поддерживать различные концентрации реагентов (например, учитывая селективный ход процесса). Кроме того, такой способ удобен, когда на каждой ступени необходимо хорошо перемешивать реагенты, имеющие тенденцию к разделению, и обеспечить непрерывность движения потоков (например, для систем жидкость — газ в дистилляционных колоннах или для систем твердое тело — газ в многоступенчатых каскадах аппаратов с псевдооживленным слоем).

## 2. ПРОЦЕСС СОЗДАНИЯ НОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Строительство новых или реконструкция действующих предприятий связаны с большими затратами материалов, сил и средств, поэтому еще до начала проектирования следует обосновать необходимость, целесообразность и экономическую эффективность этих затрат, а также выбрать площадку для строительства. Рациональное размещение химической промышленности связано с решением многих проблем, требующих глубокого научно-экономического анализа и всесторонних проработанных технико-экономических расчетов.

Для современной химической технологии характерны следующие особенности, которые имеют принципиальное значение для размещения производительных сил в целом:

1) техническая возможность и экономическая целесообразность промышленной химической переработки почти неограниченного круга веществ и превращение в промышленное сырье полезных ископаемых, богатств растительного и животного мира, морской и пресной воды, а также воздуха;

2) возможность хозяйственного использования природных богатств всех экономических районов на основе комплексной переработки сырьевых и энергетических ресурсов различных видов и качества, что резко увеличивает промышленные ресурсы сырья;

3) разнообразие химико-технологических методов, позволяющих получать различные химические промышленные продукты из одного и того же основного сырья (пластические массы, синтетический каучук, синтетические жирные кислоты из нефти) или производить равноценные химические продукты из различных видов сырья (получение спирта из пищевого сырья, нефти и газа, древесины, торфа и т. д.),

4) возможность промышленного получения химических полупродуктов и конечной продукции на базе использования комплексных видов сырья.

### 2.1. Основные принципы размещения предприятий химической промышленности

*Выбор района размещения* химического предприятия определяется на основе технико-экономического изучения многих факторов в их взаимном сочетании. Для химической промышленности первостепенными факторами являются сырьевой, энергетический, водный, потребления продукции и др. Для механической переработки химической продукции особое значение имеет трудовой фактор. Для ряда от-

раслей химического производства и специфических видов химической продукции существенное значение для выбора района размещения предприятий имеет транспортный фактор. Общими условиями для размещения предприятий всех отраслей промышленности являются экономичность, наименьшие удельные затраты при строительстве и эксплуатации предприятия, хозяйственная освоенность района, наличие строительных баз, возможность комбинирования с другими отраслями производства и др.

**Сырьевой фактор** определяет практическую возможность использования экономически эффективного промышленного сырья, максимальное приближение промышленности к дешевым, массовым видам сырья. Химические производства, как правило, требуют больших затрат сырья на единицу производимой продукции, особенно производства элементарного фосфора, фосфорных и калийных удобрений, соды, крупнотоннажных пластмасс, синтетического каучука и т. д.

При оценке сырьевого фактора в химическом производстве необходимо учитывать: масштабы производства современных предприятий и комплексов; взаимозаменяемость видов, а, следовательно, и сырьевых источников; нетранспортабельность или малую транспортабельность отдельных видов сырья; зависимость экономических показателей химической продукции от экономики сырьевой базы.

**Энергетический фактор** определяет влияние затрат топлива и электроэнергии на размещение химических предприятий и экономическую целесообразность их концентрации в районах нахождения крупных и дешевых ресурсов топлива и гидроэлектроэнергии. Энергетический фактор химического производства для ряда отраслей промышленности определяет район размещения предприятий.

**Водный фактор.** Для правильного размещения химической промышленности большое экономическое и техническое значение имеют обеспечение предприятий водой хорошего качества и рациональное решение вопросов сброса значительного количества загрязненных стоков и отходов.

Водные ресурсы по районам страны распределены весьма неравномерно, в ряде районов они весьма ограничены. Для их пополнения требуется осуществление крупных и дорогостоящих гидротехнических сооружений. Вода приобретает высокую цену и ее использование должно иметь строгое регулирование. Поэтому выбор источников водоснабжения для химических предприятий, требующих больших затрат воды, определяется состоянием водных ресурсов в экономическом районе в целом. Нарушение этого принципа может нанести

большой ущерб хозяйству района и значительно затруднит эксплуатацию химических предприятий.

**Фактор потребления** применим к отдельным отраслям химической промышленности, выпускающим многотоннажную продукцию, потребляемую преимущественно в определенных территориальных зонах. Наиболее характерны в этом отношении производства минеральных удобрений, шин и резино-технических изделий.

**Транспортный фактор** — определение суммарного объема и себестоимости транспортных работ по перевозке сырья, материалов, топлива к пунктам производства и потребления. При решении вопроса о строительстве предприятия необходимо стремиться к снижению общего веса транспортных издержек в себестоимости продукции.

**Трудовой фактор** — обеспеченность района трудовыми ресурсами и условия, определяющие высокий жизненный уровень трудящихся на химических предприятиях. Он имеет важное значение для размещения химической промышленности. Во-первых, весьма трудоемкие химические предприятия, если этому не противоречат иные факторы, целесообразно размещать в густонаселенных экономических районах. Во-вторых, малая трудоемкость некоторых производств позволяет размещать их во вновь осваиваемых районах или в районах с недостаточными трудовыми ресурсами, если есть возможность привлечь трудовые ресурсы из других районов.

**Фактор времени** — максимальный выигрыш во времени в результате четкой организации проектирования, строительства и освоения мощности предприятий с учетом экономного использования труда, материальных и финансовых средств.

При оценке фактора времени следует учитывать наличие строительных баз соответствующей мощности, степень хозяйственной освоенности района, наличие свободных трудовых ресурсов, жилищно-коммунального фонда и удобных транспортных связей. При правильном использовании этих условий предприятие можно построить скорее и дешевле. Фактор времени следует рассматривать в общей совокупности экономических и технических условий строительства и эксплуатации будущего предприятия.

## **2.2. Техничко-экономическое обоснование целесообразности реконструкции или нового строительства**

Повышение эффективности проектных решений зависит от глубины технико-экономического обоснования целесообразности и хозяйственной необходимости намечаемого строительства. Проектированию и

строительству предприятий и сооружений должна предшествовать квалифицированная научно обоснованная предпроектная проработка основных вопросов предстоящего проектирования.

Технико-экономические обоснования (ТЭО) проектирования и строительства (реконструкции) предприятий и сооружений состоят из таких основных разделов.

**1. Исходные положения.** В этом разделе отражаются следующие вопросы: характеристика роли данного предприятия в обеспечении роста мощностей и покрытия потребности в продукции, намечаемой к выпуску; характеристика расширяемого или реконструируемого действующего предприятия, оценка и анализ его деятельности, основные технико-экономические показатели его работы. Определяется дефицит продукции, предполагаемой к выпуску на предприятии. Из выявившегося дефицита в изделиях определяется программа производства реконструируемого, расширяемого, новостроящегося завода, которая обеспечивает полное или частичное удовлетворение потребности в выпускаемой продукции.

**2. Определение проектной мощности и специализация предприятия (сооружения), обоснование ассортимента продукции и требования к качеству выпускаемой продукции.** Расчет производственной мощности проектируемого предприятия начинается с определения мощности отдельных ведущих машин и аппаратов. Ведущая машина, аппарат или группа однородных машин, аппаратов, выполняющих основную стадию технологического процесса, определяют производственную мощность цеха и предприятия. В соответствии со схемой технологического процесса подбирают оборудование по каждому участку и цеху. Для обеспечения высокой экономической эффективности производства решающее значение имеет подбор наиболее совершенных машин и аппаратов, отвечающих высшему техническому уровню.

Исходными расчетными единицами для определения производственной мощности ведущего технологического оборудования большинства производств являются технические нормы производительности и время работы в течение года. Расчет производят раздельно по каждой ведущей машине, аппарату, затем рассчитывают потребное количество оборудования в соответствии с проектируемым объемом производства продукции в заданном ассортименте.

Вслед за расчетом годовой мощности каждой ведущей машины, аппарата, агрегата определяют количество оборудования, необходимое для производства проектируемого ассортимента продукции. обосно-

вание мощности проектируемого предприятия производится по всему ассортименту, указанному в задании.

Необходимость применения высокопроизводительных ведущих аппаратов, машин и наиболее полного их использования может служить важным доводом при обосновании мощности проектируемого предприятия (цеха). При определении мощности проектируемого предприятия учитывается также мощность заводов-потребителей, количество получаемого сырья, мощность энергетической базы и т.д. Например, мощность сернокислотного цеха в составе комбината должна обеспечивать потребность цехов экстракционной фосфорной кислоты, простого суперфосфата и других цехов.

Необеспеченность проектируемого предприятия сырьевыми и энергетическими ресурсами может привести к недоиспользованию производственной мощности и повышению себестоимости продукции, а при необходимости сбыта готовой продукции за пределами радиуса допустимых транспортных перевозок к снижению экономики, достигаемой на крупном предприятии от снижения себестоимости. Поэтому определяющим критерием оптимального размера предприятия служит наличие сырьевых и энергетических ресурсов и возможности реализации продукции при минимальных транспортных расходах. Одним из условий определения оптимальной мощности является также обеспечение высокой эффективности проектируемого предприятия и основных технико-экономических показателей на уровне нормативных отраслевых, лучших, достигнутых на передовых отечественных и зарубежных предприятиях.

**3. Обеспечение сырьем, основными материалами, топливом, энергоресурсами и т. д.** Этот раздел содержит данные о наличии сырьевой базы, потребности в сырье, источниках получения, требованиях к качеству и способах подготовки сырья, развитии сырьевой базы, источниках получения вспомогательных материалов и полуфабрикатов. Кроме того, приводится обоснование рекомендуемых источников обеспечения предприятия электроэнергией, топливом, водой.

**4. Обоснование размещения предприятия, схема генерального плана и транспорт.** В этом разделе даются технико-экономическое сравнение возможных вариантов размещения предприятия; оценка оптимальности выбранного варианта размещения предприятия; характеристика мест размещения предприятия; сведения о климатических, инженерно-геологических и гидрологических условиях района намечаемого строительства предприятия; схема генерального плана предприятия с указанием на нем расположения новых и существующих зданий и сооружений, транспортных путей; площадей для возможного

расширения предприятия, пусковых комплексов и очередей строительства, ориентировочных объемов земельных работ, основных показателей по генеральному плану; сведения о грузообороте предприятия и организации транспортного хозяйства.

**5. Основные технологические решения предприятия.** Раздел включает:

а) обзор существующих методов производства продукта и их сравнение;

б) рекомендуемую технологию производства, соответствие ее новым прогрессивным технологическим процессам, намеченным основными технологическими решениями в проектировании предприятий данной отрасли, исходя из ближайшей перспективы развития науки и техники, обоснование целесообразности новых производств;

в) обоснование выбора оборудования с учетом намечаемого к выпуску перспективным планом и технические условия на конструирование оборудования индивидуального изготовления;

г) состав предприятия и схему производства;

д) характеристику и обоснование технических решений, новых технологических процессов, сравнение их с современными технологическими решениями, применяющимися в отечественной и зарубежной технике;

е) требования к уровню механизации и автоматизации предприятия (сооружения);

ж) схему кооперирования ремонтных и вспомогательных цехов с другими предприятиями района.

**6. Охрана окружающей среды.** Этот раздел содержит: определение расчетных расходов сточных вод и газовых выбросов; характеристику производственных сточных вод, выбросов в атмосферу и способов их очистки; краткое описание запроектированных систем по очистке сточных вод и газовых выбросов.

**7. Основные строительные решения.** Данный раздел содержит: технологические требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям, краткую характеристику и обоснование архитектурно-строительных решений зданий и сооружений, предприятия в целом; перечень типовых и повторно применяемых экономичных проектов основных зданий и сооружений (в том числе вспомогательных и подсобных); краткое описание решений по бытовому и медицинскому обслуживанию работающих на производстве, по ограничению шума и вибрации в производственных и вспомогательных цехах.

**8. Сроки строительства и основные решения по организации строительства.** Раздел содержит данные об объемах основных строи-

тельно-монтажных работ, о создании (развитии) строительной базы, необходимой в связи со строительством предприятия (сооружения), о потребности в строительных конструкциях и материалах и источниках их получения; организации строительства, сроках начала и продолжительности его осуществления и освоения проектных мощностей.

**9. Объемы капитальных вложений и экономика строительства и производства.** В данном разделе выполняются расчеты объектов капитальных вложений; определение удельных капитальных затрат, расчеты по эффективности капитальных вложений, анализ капитальных вложений и основных фондов. Приводятся данные о численности персонала и источниках обеспечения рабочей силой, показатели производительности труда, себестоимость основных видов продукции. Кроме того, дается оценка и сравнение технического уровня и важнейших технико-экономических показателей предприятия с уровнем и показателями действующих передовых отечественных и зарубежных предприятий, а также с показателями проектируемых на перспективу предприятий соответствующей отрасли промышленности и ранее разработанных и утвержденных аналогичных ТЭО и проектов,

**10. Выводы и предложения.** Данный раздел включает общую оценку экономической целесообразности и хозяйственной необходимости проектирования и строительства, требования к другим отраслям промышленности, а также перечень научно-исследовательских и конструкторских работ, возникающих в связи с намечаемым строительством и сроки их окончания.

### **2.3. Выбор площадки для строительства**

Площадка для строительства промышленного предприятия, здания или сооружения выбирается при составлении ТЭО до утверждения задания на проектирование в районе или пункте, установленном схемой развития и размещения соответствующей отрасли промышленности и схемой развития и размещения производительных сил по экономическим районам.

Для выбора пункта строительства проводится обследование предложенных вариантов размещения и сбор необходимых данных для технико-экономического анализа и определения их экономической эффективности. Основанием для рекомендаций варианта размещения служат исходные данные, характеризующие намечаемое к строительству предприятие. Исходные данные разрабатываются на основе укрупненных показателей и сведений, явившихся базой для включения

предприятия в схему развития и размещения отрасли или результатом технических и экономических расчетов при составлении ТЭО,

В процессе выбора площадки под строительство сопоставляются все факторы и технико-экономические расчеты по обследованным площадкам с точки зрения наилучшего удовлетворения условий строительства и эксплуатации предприятия. При этом учитываются:

- размер и конфигурация площадки, возможность расширения предприятия;
- принадлежность земель и их пригодность для сельского хозяйства;
- гидрогеологические качества площадки (рельеф, средний уклон, уровень грунтовых вод, затопляемость, допустимое давление на грунт);
- снос строений;
- близость площадки к городу (жилому поселку) и условия сообщения с ними;
- удовлетворение санитарно-гигиенических и технических требований;
- увязка размещения предприятия на выбранной площадке с развитием промышленности в городе;
- условия получения энергии и протяженность трасс (электроэнергии, тепло-, газо-, водоснабжения, связи);
- условия сброса сточных вод и протяженность трасс хозяйственно-фекальных и ливневых стоков;
- наличие подъездных автомобильных дорог.

В отдельных случаях перечисленные технико-экономические показатели могут быть дополнены, например, такими данными:

- условия примыкания и расстояние до железнодорожной станции;
- наличие факторов, осложняющих строительство (просадочные грунты, карстовые явления, подземные выработки, гидроизоляция и т. д.);
- возможность кооперирования с другими предприятиями;
- дополнительные затраты на земляные работы, сооружение дорог, присоединение к источникам энергоснабжения, долевое участие других предприятий в строительстве внешних коммуникаций и объектов кооперированного строительства.

#### **2.4. Разработка задания на проектирование промышленных предприятий**

Задание на проектирование составляется в полном соответствии с принятыми в ТЭО решениями и технико-экономическими показателями, включая определенный размер затрат на строительство.

В задании на проектирование промышленного предприятия, здания или сооружения указываются:

- 1) наименование предприятия, здания или сооружения;
- 2) основание для проектирования;
- 3) район, пункт и площадка для строительства (документы, обосновывающие место расположения предприятия и предварительное согласование, и материалы утвержденного ТЭО);
- 4) мощность производства и номенклатура основных видов продукции;
- 5) режим работы предприятия;
- 6) решения о производственном и хозяйственном кооперировании;
- 7) требования по защите окружающей среды и утилизации отходов производства;
- 8) данные для проектирования объектов жилищного и культурно-бытового строительства;
- 9) основные технико-экономические показатели (при разработке проекта эти показатели не должны быть ухудшены);
- 10) намечаемые сроки строительства, порядок его осуществления и ввода мощностей по очередям и пусковым комплексам;
- 11) требования по разработке вариантов проекта или его частей для выбора оптимальных решений;
- 12) стадийность проектирования;
- 13) генеральный проектировщик предприятия (им является головной проектный институт, которому поручается проектирование предприятия);
- 14) наименование и адрес строительной организации — генерального подрядчика, которому поручается ведение работ подрядным способом;
- 15) наличие согласования с территориальными организациями;
- 16) дополнительные указания (в задании на проектирование в необходимых случаях оговариваются следующие дополнительные условия: разработка автоматизированных систем управления, намечаемое расширение предприятия, основные технологические процессы, оборудование и др.).

К заданию на проектирование прилагается утвержденный акт о выборе площадки. Кроме акта о выборе площадки, к заданию на проектирование прилагаются:

- а) архитектурно-планировочное задание, в котором содержатся указания о требованиях к застройке участка, этажности и оформлению зданий и сооружений; выходящих на магистральные уличные проезды,

о красных линиях и отметках планировки, об условиях и местах присоединения к городским инженерным сооружениям;

б) строительный паспорт, содержащий основные технические данные по выбранному земельному участку;

в) технические условия на присоединение проектируемого, предприятия или сооружения к источникам снабжения, инженерным сетям и коммуникациям;

г) сведения о существующей застройке, подземных сооружениях, коммуникациях и др.;

д) необходимые для проектирования материалы по видам выделяемого топлива, по месторождениям сырья и ползаводским его испытаниям, чертежи и технические характеристики продукции предприятия, данные по оборудованию, отчеты по выполненным научно-исследовательским работам, связанным с созданием новых технологических процессов и оборудования; данные о естественном состоянии водоемов, атмосферного воздуха и почвы, данные обмеров существующих на участке строительства зданий, сооружений, подземных и наземных коммуникаций.

Указанный выше состав задания на проектирование может дополняться применительно к особенностям отрасли промышленности и условиям осуществления строительства.

## **2.5. Проектирование промышленного объекта**

Проектирование — важное звено, связующее науку с производством. Для того чтобы новые, прогрессивные научно-технические решения были внедрены, они должны найти отражение в соответствующих проектах. В узком смысле проект — это чертеж или система чертежей, дающих обоснованное техническими расчетами графическое отражение будущего здания; предприятия или сооружения или их отдельных частей. В более широком смысле проект — это совокупность расчетных и графических материалов, обосновывающих техническую возможность, экономическую целесообразность и изображенное графически решение строительства какого-либо здания, предприятия, сооружения.

Значение проектирования намного шире, чем составление чертежей и смет, необходимых для осуществления строительства. В проектах предусматривается повышение экономической эффективности производства, более прогрессивные, чем существующие, технические решения, более низкий, чем на аналогичном предприятии, уровень себестоимости и более высокий уровень качества предусмотренной проектом продукции.

### *2.5.1. Разработка технического проекта*

Для процесса проектирования можно установить несколько основных общих положений.

**Последовательность проектирования от общего к частному.** В процессе проектирования последовательно решаются вопросы сначала обоснования экономической целесообразности и производственно-хозяйственной необходимости строительства (реконструкции), затем определения основных объемно-планировочных, технологических, конструктивных, архитектурных и других решений.

**Вариантность проектирования.** Для повышения экономической эффективности капитальных вложений проектирование, начиная от размещения на выбранной площадке для строительства объектов (составление генерального плана) и до последней детали проекта, производится методом разработки вариантов, их сравнения и отбора лучшего по технико-экономическим показателям решения, позволяющего получить максимальный эффект при минимуме затрат.

**Использование типовых проектов.** При проектировании конкретного объекта строительства используются в максимальной степени типовые решения. Это позволяет уменьшить трудоемкость проектирования, снизить затраты на проектные работы, повысить их качество. Типовое проектирование способствует своевременному обеспечению строительства проектной документацией, широкого применения в нем сборных элементов, внедрения передовой техники, наиболее прогрессивных и экономичных планировочных и конструктивных решений.

**Комплексность проектирования.** Данное положение проявляется в тесной взаимной увязке отдельных частей проекта – технологической, архитектурно-строительной, транспортной, санитарно-технической, энергетической, коммунальной и др. Это необходимое условие для повышения качества проектирования и его экономичности.

Различают одно- и двухстадийное проектирование.

На строительство новых, расширение, реконструкцию и техническое перевооружение действующих предприятий, зданий и сооружений разрабатываются, как правило, одностадийные технорабочие проекты. Двухстадийное проектирование (технический проект и рабочие чертежи) допускается только для строительства крупных и сложных промышленных комплексов, а также, если применяется новая неосвоенная технология производства и используются головные образцы сложного технологического оборудования.

### 2.5.2. Состав технического проекта

В состав технического проекта входят: общая пояснительная записка с кратким изложением содержания проекта; технико-экономический раздел; генеральный план и транспорт с разделом о рекультивации нарушенных земель; технологический раздел; раздел обеспечения энергоресурсами и защиты окружающей среды; раздел организации труда; строительный раздел; раздел организации строительства, подготовки и освоения проектных мощностей; сметный раздел; паспорт проекта.

В *общей пояснительной записке* указывается основание для разработки проекта, вид строительства (новое, расширение, реконструкция), мощность, состав предприятия, номенклатура основной продукции, основные технико-экономические показатели, организация и сроки строительства.

В *технико-экономической части* проекта приводятся:

данные о результатах расчетов экономической эффективности и обоснование нового строительства;

обоснование прогрессивности принимаемых технологических процессов;

сведения о хозяйственных связях проектируемого предприятия с другими предприятиями;

обоснование потребности в основных категориях рабочих и ИТР;

анализ капитальных вложений и основных фондов предприятия;

данные о сравнении технико-экономических показателей с аналогом (передовые отечественные и зарубежные предприятия) и др.

Раздел *«Генеральный план и транспорт»* содержит:

обоснование решений по внутриплощадочным транспортным путям; основные планировочные решения и решения по вертикальной планировке и благоустройству территории;

решения по инженерным сетям и коммуникациям;

сведения о грузообороте и организации транспортного хозяйства и др.

В *технологической части* проекта приводятся:

характеристика выпускаемой продукции, оценка качества и прогрессивности ее, обоснование эффективности продукции в народном хозяйстве;

программа выпуска продукции;

схема производства и состав предприятий;

характеристика и обоснование технических решений и новых технологических процессов;

трудоемкость производственных процессов; уточненные данные по предприятию о потребности в сырье, основных материалах, оснастке, топливе, электроэнергии, газе, воде, тепле;

межцеховые технологические коммуникации;  
обоснование вспомогательных производств и др.

В разделе **обеспечения энергоресурсами** указываются исходные данные, характеристика потребителей энергии, определение нагрузок потребной мощности, заказные спецификации и перечень оборудования.

В разделе **организация труда** приводятся решения по организации трудовых процессов, обеспечивающих наибольшую производительность труда.

В **строительной части** проекта дается краткое описание архитектурно-строительных решений по зданиям, сооружениям, строительству которых предполагается по индивидуальным проектам, проектных решений, обеспечивающих заданную освещенность, благоприятные условия воздушной среды производственных и вспомогательных помещений, взрыво- и пожаробезопасность, решений по бытовому, санитарному обслуживанию работающих на производстве; обоснование принятых решений по отоплению, вентиляции и кондиционированию воздуха; обоснование принятых схем водоснабжения и канализации; перечень и характеристика основных сооружений водопровода и канализации и др.

В **сметной части** проекта выполняются расчеты затрат, предусматриваемых на строительство, реконструкцию предприятий, сгруппированных соответственно структуре капитальных вложений на строительные работы, на работы по монтажу оборудования; затрат на технологическое, энергетическое, подъемно-транспортное и другое оборудование, приспособления, инструмент и инвентарь, на прочие капитальные работы и затраты, связанных с осуществлением строительства.

**Сводная смета** технического проекта является основным и неизменным документом, на основании которого осуществляется планирование капитальных вложений и финансирование строительства.

## 2.6. Методы проектирования

Из всех методов проектирования основным считается **графический**. Однако в химической промышленности иногда целесообразнее пользоваться объемным (модельно-макетным) методом проектирования.

Сущность **макетно-модельного проектирования** состоит в следующем. После разработки схемы цепи аппаратов и спецификации

оборудования подбирают или изготавливают (обычно в масштабе 1:50) модели оборудования, аппаратуры, трубопроводов, стандартизированные элементы строительных сборных конструкций и из них на специальном столе-стенде собирают макет цеха или корпуса предприятия. В компоновке цеха на стенде одновременно могут участвовать проектировщики всех специальностей. После того как будет найдено рациональное архитектурно-компоновочное решение, раскладываются трубопроводы и коммуникации, а затем на макете проставляются необходимые размеры и отметки.

Объемный метод проектирования имеет ряд преимуществ по сравнению с графическим, например, значительное сокращение времени и расходов на проектирование (до 15–20 %). Фотографируя макеты предприятий или их отдельные составные части, можно легко и быстро размножить проектную документацию.

*Метод математического проектирования* используют для решения отдельных частных задач, таких как расчет оптимального технологического режима работы аппаратов в сложных производствах и определение оптимальной мощности технологической линии. Этот метод требует точного математического описания всех закономерностей технологического процесса в их взаимосвязи и большого объема вычислений.

## **2.7. Проектирование химического производства**

Проектирование, как и любая инженерная работа, требует активного творческого подхода и в то же время оно регламентировано множеством нормативных документов, таких как ГОСТы, технические условия, строительные нормы и правила (СНиП), правила устройства электроустановок (ПУЭ), требования охраны труда и окружающей среды.

Инженер химик-технолог, работающий в монтажно-технологическом отделе проектной организации, занимается разработкой технологической схемы производства, выбором технологического оборудования, объемно-планировочным решением (компоновка) производства и размещением технологического оборудования, монтажной разработкой производства, оформлением проектной документации (пояснительная записка и чертежи).

Разработка технологической схемы производства начинается с анализа способов производства и обоснования выбранного метода производства. Как правило, необходимые данные имеются в ТЭО и в задании на проектирование, но в некоторых случаях при проектировании разрабатывают несколько вариантов в целях обоснованного выбора

наиболее эффективного. Для этого требуется максимально полная информация, обеспечивающая надежность принятых в проекте решений.

Одна из трудностей при выборе метода производства — необходимость одновременного учета всех факторов, определяющих метод, и их взаимного влияния.

Химико-технологический процесс представляет собой совокупность ряда химических и физических методов переработки сырья и промежуточных продуктов в целях получения нового вещества. Этот процесс также включает в себя и ряд таких операций, как транспортирование, складирование, затаривание и т. д.

Таким образом, методы получения одного и того же продукта могут отличаться типом применяемого сырья, способом его переработки или тем и другим одновременно. Что касается отходов, то их количество и состав полностью зависят от сырья и способа его переработки и не являются независимыми переменными. Следовательно, выбор метода производства в химической промышленности сводится в основном к выбору сырья и способа его переработки. Для этого требуется информация о сырье и способе его переработки по каждому из сравниваемых методов.

Наиболее полная и достоверная информация о методе производства может быть получена с освоенных и нормально эксплуатируемых предприятий. Однако чаще приходится сравнивать с уже освоенными в промышленности методами какой-либо вновь разрабатываемый способ производства. В этом случае задача получения информации усложняется, еще сложнее получить данные, необходимые для сравнения двух или нескольких методов, каждый из которых является вновь разрабатываемым. Наконец, наиболее сложен анализ вновь разрабатываемого метода, для которого нет аналогов.

Основой выбора метода производства является *выбор сырья и способа его переработки*. Под термином «сырье» условно понимается вся номенклатура сырья и вспомогательных продуктов (катализаторы, абсорбенты, адсорбенты, флотореагенты, растворители), используемых в данном производстве. Необходимую информацию о сырье можно разделить на две группы: исходные данные и данные, полученные в результате расчетов.

Исходная информация о сырье должна содержать, как минимум, следующие сведения: 1) наименование и качество сырья, необходимо для получения готового продукта с заданными свойствами, при этом особое внимание должно быть уделено его токсичности, огне- и взрывоопасности; 2) обеспеченность разрабатываемого производства сырьем к моменту ввода его в эксплуатацию; 3) данные, необходимые

для материальных расчетов. Источниками указанной информации являются литературные, архивные и экспериментальные данные.

После получения всех данных о сырье необходимо определить, в какие продукты и в каком количестве превращается сырье. Для этого нужно выполнить материальные расчеты, определить расходные коэффициенты по сырью, количеству и составу отходов и сточных вод.

*Информация о способе производства* также может быть разделена на две группы: информацию, получаемую в качестве исходных данных, и информацию, получаемую в результате расчетов.

Минимум исходной информации о методе производства составляют данные о методах переработки сырья (с указанием основных параметров технологического процесса), краткая характеристика основного технологического оборудования, необходимого для осуществления процесса, и сведения о предполагаемой мощности производства.

К информации, получаемой в результате технологических расчетов, относятся: тип, размеры и число единиц оборудования, нужного для осуществления технологического процесса, характеристика сооружений для размещения оборудования, расходы энергии и сведения о штабах, требуемых для эксплуатации производства.

После выбора способа производства или нескольких способов, подлежащих сравнению, определяют основные и вспомогательные физико-химические процессы, механические операции, их последовательность и оптимальные параметры режима на каждой стадии переработки сырья в конечный продукт.

Во многих случаях нормы технологического режима зависят от используемого оборудования, поэтому уже на данной стадии необходимо предварительно выбирать оборудование. Например, для разделения твердой и жидкой фаз можно использовать отстойники, гидроциклоны, фильтры и центрифуги. В зависимости от типа оборудования изменяется содержание твердой фазы в жидкости и влажность осадка.

Для каждого способа производства создают схему материальных потоков и энергетических связей производства, на которой отдельные процессы (нагрев, растворение, отстаивание, выпарка) и операции (измельчение, классификация и т. д.) обозначают прямоугольниками или кружками в их технологической последовательности, а потоки – линиями.

При выборе метода производства предпочтение следует отдавать тем способам, которые при равном качестве продукта обеспечивают меньшие энергетические затраты. Получили распространение энерготехнологические схемы производства аммиака, азотной и серной кислот, в которых тепло экзотермических процессов используется для выработки пара или привода турбокомпрессоров. Снижение расхода

электроэнергии компенсирует увеличение капитальных затрат и приводит к уменьшению себестоимости продукции.

**Материальный расчет (баланс) производства.** Это расчет количеств загружаемых и получаемых продуктов на каждой стадии технологического процесса с определением расходных коэффициентов по сырью и расчет состава и количества отходов и сточных вод. Он может быть составлен на единицу времени (сутки, час и т. д.), на единицу массы сырья или готовой продукции (тонну, килограмм и т. д.). Универсальным является материальный баланс, составленный на наиболее постоянную величину — единицу массы 100 %-го готового продукта.

Если балансы рассчитывают на единицу массы (сырья или продукта), то по данным балансов определяют материальные потоками (в кг/с, т/ч, м<sup>3</sup>/с или м<sup>3</sup>/ч) через каждый аппарат или машину, так как эти величины необходимы для последующего расчета аппаратуры.

На основании балансов рассчитывают расходные коэффициенты по исходным веществам, количество и состав газовых выбросов, сточных вод и отходов производства.

**Тепловой расчет производства.** Количество тепла, которое надо подвести к аппарату или отвести от него для проведения химического процесса, определяют на основании теплового баланса. Тепловой баланс рассчитывают в соответствии с нормами технологического режима и физико-химическими свойствами веществ, участвующих в процессе. На основании теплового баланса определяют потоки теплоносителя (водяного пара, топлива, электроэнергии) или хладагента (кг/с, т/ч, м<sup>3</sup>/с, м<sup>3</sup>/ч) и удельный расход их на единицу продукции.

**Выбор типа, расчет размеров и количества машин и аппаратов.** На стадии аппаратурного оформления производства выбирают тип машин, аппаратов и транспортных устройств для всех операций и процессов производства, рассчитывают размеры и число аппаратов по мощности технологической линии и производительности отдельных машин и аппаратов по ГОСТ, каталогам и фактической производительности, достигнутой на действующих предприятиях, решают вопросы о способах приема и транспортировки сырья, выдачи готовой продукции, удаления отходов производства, механизации и автоматизации всех операций и процессов.

При выборе оборудования следует отдавать предпочтение стандартным или нормализованным машинам и аппаратам, так как они освоены промышленностью, их легче изготовить и стоимость их значительно ниже стоимости оборудования индивидуального изготовления. Стандартное оборудование проектированию не подлежит.

При выборе оборудования необходимо сравнивать показатели различных его видов

- 1) производительность (кг/с, т/сут);
- 2) ресурс работы, который определяют по каталогам или практическим данным (ч/год);
- 3) стоимость (руб/шт.);
- 4) надежность, которая может быть выражена через вероятность безотказной работы в течение заданного времени;
- 5) качество продукта — степень превращения для реакторов, содержание влаги (для фильтров, центрифуг и сушилок), величину кристаллов и т. д.;
- 6) энергетические затраты — общий расход энергии на единицу продукции (кДж/кг, руб/кг);
- 7) стоимость ремонтов — общие затраты на ремонты в течение года (руб/год);
- 8) затраты на обслуживание с учетом количества необходимого персонала и его зарплаты (чел; руб/год);
- 9) соответствие данного типа машины или аппарата требованиям охраны труда, техники безопасности и охраны окружающей среды;
- 10) занимаемый объем и его стоимость ( $\text{м}^3$ , руб).

Критерием оптимальности выбора является минимум затрат на единицу продукции. При расчете следует учесть, что в случае параллельной работы ряда однотипных аппаратов надежность их увеличивается.

После решения вопросов аппаратурного оформления обвязки технологических узлов вычерчивают полную технологическую схему производства и составляют задание отделу КИП и автоматики на детальную разработку средств автоматического контроля и управления технологическим процессом.

**Объемно-планировочное решение (компоновка) производства и размещение оборудования.** Под компоновкой цеха понимается состав помещений, необходимых для размещения оборудования и вспомогательных служб цеха (производства), их размеры и взаимное расположение. Компоновка производства должна предусматривать полное соответствие специфическим условиям технологического процесса, безопасность и удобство обслуживания оборудования, удобство монтажа и ремонта оборудования и минимальную стоимость строительства.

Первоначально решается вопрос о размещении оборудования на открытых площадках и этажерках (постаменты). Обычно стремятся к максимальному выносу оборудования из закрытых помещений, так как это удешевляет строительство, упрощает монтаж и разборку аппаратуры при ремонте, устраняет необходимость в вентиляции. Перечень

аппаратуры, которая устанавливается на открытых площадках, приведен в литературе. Однако при этом необходимо учитывать специфику химического производства (токсичность и взрывоопасность перерабатываемых веществ), технологические требования и климатические условия в пункте строительства. Производства катализаторов, реактивов, сильно пылящих и агрессивных веществ, растворов с высокой температурой кристаллизации размещают только в закрытых помещениях, а также большинство машин — компрессоры, газодувки, насосы, мельницы, дробилки, грохота, аппаратуру для растворения, упаривания, фильтрации и сушки. При компоновке учитывают степень токсичности, пожаро- и взрывоопасности производства, необходимость размещения вспомогательных производственных (вентиляционные камеры, электроподстанции и электрораспределительные устройства, цеховые лаборатории) и обслуживающих помещений, таких как ремонтные мастерские, кладовые, бытовые и административные.

После решения вопросов объемной планировки приступают к размещению оборудования по площадкам и этажам с учетом его размеров и массы, направления материальных потоков, токсичности перерабатываемых веществ, удобства монтажа, ремонта и обслуживания, а также требований охраны труда и техники безопасности. Как правило, оборудование подразделяют на группы, в каждой из которых собирают машины и аппараты близкого типа или характеризующиеся каким-либо общим признаком (например, с сильной вибрацией и пылевыделением, выделением токсичных или агрессивных веществ) и распределяют эти группы по соответствующим производственным помещениям: компрессорным, насосным, реакторным, сушильным и т. д. Оборудование изображают на чертежах компоновки производства (цеха).

Выполнение этой части проектирования заканчивают составлением следующих заданий:

- энергоотделу с указанием размещения потребителей электроэнергии, их мощности и режим работы;

- отделу генеральных планов с чертежами компоновки зданий, сооружений и площадок;

- отделу водоснабжения и канализации с указанием потребителей воды, требований к ее качеству и расхода;

- строительному отделу на разработку архитектурно-строительной части проекта (первое задание) в виде чертежей цеха с нанесенным оборудованием и указанием максимальных и минимальных полезных нагрузок от машин и аппаратов, трубопроводов и арматуры, а также от деталей машин и аппаратов при ремонте;

отделу внешних сетей на проектирование различных технологических трубопроводов между цехами;

сметному отделу на составление сметы строительства, в задании сообщают объем и тип зданий, сооружений и площадок, спецификацию оборудования и изделий, необходимых для проектируемого производства.

В последующем указанные задания уточняются и согласовываются с соответствующими отделами. По данным подбора и расчета оборудования составляют спецификацию оборудования, задание на проектирование нестандартного оборудования, технологическую схему производства, сортамент труб и арматуры.

Монтажная проработка заключается в выполнении чертежей трубопроводов (обвязки), связывающих различные аппараты в цехе. В данной части просто намечают трассы трубопроводов и способы их соединения с аппаратами, разрабатывают способы обогрева трубопроводов, предназначенных для замерзающих жидкостей, меры устранения вибрации, гидравлических ударов и температурной деформации трубопроводов, способы крепления трубопроводов, места размещения арматуры. Проект должен обеспечивать удобство обслуживания и ремонта трубопроводов, выполняться в соответствии с требованиями техники безопасности и противопожарными правилами.

Монтажная проработка заканчивается выполнением монтажно-технологической схемы, на которой изображают оборудование и его трубопроводную обвязку, монтажных чертежей, на которых вычерчивают в масштабе аппаратуру и все трубопроводы, составлением журнала трубопроводов, сводной спецификации на трубы и арматуру и монтажной инструкции.

Оформление проектной документации осуществляют по мере готовности ее отдельных частей. Чертежи, схемы и расчет, подготовленные разными отделами проектного института, согласовываются, проверяются и утверждаются.

При разработке проектов промышленных предприятий, зданий и сооружений проектная организация должна руководствоваться действующими нормами и правилами по проектированию и строительству, каталогами типовых проектов и конструкций, выпускающихся предприятиями стройиндустрии. В зависимости от характера проектируемого объекта и стадии проектирования пользуются разным набором нормативных документов.

### 3. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

#### 3.1. Основные принципы создания САПР

Одной из основных функций инженера является проектирование объектов того или иного назначения или технологических процессов их изготовления. Проектирование в самом общем виде может быть определено как процесс направленного действия проектировщика (группы проектировщиков), необходимый для выработки технических решений, достаточных для реализации создаваемого объекта, удовлетворяющего заданным требованиям. Завершающим этапом проектных работ является выпуск комплекта документации, отображающей принятые решения в форме, необходимой для производства объекта.

Проектирование, осуществляемое при помощи средств автоматизации, называют автоматизированным. В автоматизированном проектировании коллектив специалистов различного профиля и средства автоматизации объединяются в специализированную организационно-техническую систему САПР. Работу САПР обеспечивает ее персонал, а также комплекс средств автоматизации проектирования, который содержит в своем составе техническое, математическое, программное, информационное, лингвистическое, методическое и организационное обеспечение. Взаимодействие этих видов обеспечения, осуществляемое персоналом системы в соответствии с целями и задачами проектирования, составляет существо функционирования САПР, которое приводит к необходимым конечным результатам.

Реализация основных требований к САПР связана с формированием ее типовой структуры, выполненной на уровне средств лингвистического, информационного и программного обеспечения.

**Средства лингвистики** САПР определяют состав языков, необходимых для ее функционирования и взаимодействия с пользователем. Лингвистическое обеспечение включает в себя три группы языков:

1. Языки пользователя, предназначенные для его взаимодействия с системой и служащие для описания объекта, базовых элементов и численных значений параметров этих элементов. Базовые элементы в зависимости от целевого назначения САПР описывают конструкцию элемента, алгоритм его функционирования, операции технологического процесса обработки элемента, формы документации выпускаемой САПР и т.д. Директивы управления формируют технологический процесс проектирования, т.е. последовательность операций при проектировании конкретного объекта.

2. Языки внутреннего представления данных (ЯВПД), предназначенные для описания информационной модели объекта в оперативной базе данных. ЯВПД задают форматы внутреннего представления данных и обеспечивают оперативное взаимодействие между проектными процедурами, иницируемое, как правило, программными модулями.

3. Язык машинного архива, предназначенный для хранения графической и текстовой информации по спроектированному объекту (ЯГТИ). Язык обеспечивает единую форму представления документации в архиве, необходимую для выпуска ее на различных технических средствах.

**Средства информационного обеспечения.** Типовыми структурными единицами информационного обеспечения САПР являются три группы хранилищ информации САПР. Каждое хранилище имеет свои программные средства управления и языки представления данных.

Первым постоянным хранилищем данных, составляющим основу базы данных САПР, является библиотека базовых элементов (БЭ) различного уровня, в которые входят:

- описание моделей, элементов различного целевого назначения и уровней интеграции;
- описание форматов документов;
- описание технологических данных;
- различная нормативно-справочная информация.

Вторым является временное (в пределах времени проектирования объекта) хранилище — рабочий массив, предназначенный для хранения описаний структуры (элементов и связей) объекта проектирования на различных этапах создания. Форма и состав описания соответствуют условиям работы с модулями проектирования. По своему содержанию рабочий массив является информационной моделью объекта.

Информационная модель (ИМ) объекта проектирования является ядром процесса автоматизированного проектирования конкретного объекта. По содержанию ИМ представляет собой структуру объекта, описанную в словаре библиотеки базовых элементов и необходимую для формирования математических моделей, используемых в различных проектных модулях САПР. Информационная модель создается в результате трансляции исходного описания объекта.

В процессе выполнения проектных операций ИМ служит средством информационного взаимодействия между отдельными модулями САПР. При выполнении проектных операций ИМ непрерывно обновляется и модифицируется. На завершающем этапе ИМ представляет собой законченное описание объекта проектирования в форматах язы-

ка внутреннего представления и служит для формирования по нему документации.

Третьим является временное или долговременное (на время разработки проекта) хранилище документации по объекту проектирования. Поскольку в САПР могут идти работы одновременно по нескольким объектам, хранилище должно сохранять документацию до момента выпуска ее в соответствующей форме. Дальнейшим развитием этого хранилища данных по спроектированному объекту является автоматизированная архивная служба, выполняющая все функции, свойственные архиву технической документации. К таким функциям относятся: введение изменений, формирование сводных документов, учет рассылок и др.

Средства программного обеспечения. Программный комплекс типовой САПР включает следующие программные компоненты:

- 1) трансляцию исходного задания;
- 2) формирование структуры информационной модели;
- 3) управление базой данных САПР (СУБД САПР);
- 4) управление вычислительным процессором — «Монитор-САПР»;
- 5) интерфейс базы данных;
- 6) модели проектирования;
- 7) формирование документации;
- 8) ведение архива САПР;
- 9) постпроцессоры выпуска документации.

Программы трансляции осуществляют грамматический разбор и интерпретацию задания на выполнение проектных работ в САПР, включающего описание объекта проектирования, описание базовых элементов и директивы управления. По результатам трансляции формируются диагностические данные для пользователя о составе ошибок.

**Программы формирования** структуры развертывают оттранслированное описание объекта с использованием библиотеки базовых элементов в режимах интерактивного взаимодействия с пользователем САПР, обеспечивают оперативный автоматический обмен данными библиотеки БЭ с рабочим модулем (РМ) по запросам программы формирования исходного модуля (ИМ).

**Программа «Монитор—САПР»** обеспечивает управление последовательностью выполнения проектных работ в соответствии с управляющими директивами.

**Программы интерфейса базы данных** обеспечивают перевод семантически согласованного текста ИМ, представленного в РМ на ЯВПД, в форму, необходимую для программ, выполняющих проект-

ные процедуры и обратное преобразование результатов проектирования в форматы ЯВПД рабочего массива.

**Программные модули проектирования** являются прикладным программным обеспечением, определяющим проблемную ориентацию САПР. Каждый модуль является системным компонентом программного обеспечения САПР и выполняет определенную законченную процедуру или группу процедур. Основу процедур составляют процедуры моделирования и синтеза проектных решений. Исходными данными являются ИМ. Выходные данные ПФД (графические и текстовые документы) хранятся в форматах единого ЯГТИ, принятого для данной системы САПР.

**Программы ведения архива документации** по спроектированному объекту обеспечивают хранение, поиск и выдачу документации, сформированной в САПР по группе объектов, находящихся в процессе проектирования.

**Постпроцессоры** выпуска документации предназначены для преобразования графических и символьных текстов из стандартной архивной формы, принятой в САПР, в форму, необходимую для использования на конкретном устройстве. Постпроцессоры делятся на три основных класса:

- постпроцессоры выпуска текстовой документации на автоматах печати;
- постпроцессоры формирования графической документации на графопостроителях;
- постпроцессоры формирования технологической документации автоматизированного производства.

### **3.2. Применение ЭВМ для автоматизации процесса проектирования**

Для промышленного производства системы автоматизированного проектирования приобретают все большее значение. Применение ЭВМ оказывает воздействие на конструирование, технологию и неизбежно приводит к структурным изменениям и расширению поля деятельности конструкторов и технологов в этих сферах деятельности.

САПР — это системы, предназначенные для переработки различной буквенно-цифровой информации, необходимой в процессе конструирования и разработки технологии изготовления изделия. С помощью САПР возможно выполнение расчетов при проектировании, оформление и выпуск чертежей, геометрическое моделирование и моделирование функциональных и динамических характеристик, решение проблем, связанных с составлением спецификаций, технологических карт, а также

изготовление программносителей для станков с ЧПУ и сопроводительной документации к управляющим программам (рис. 3.1).

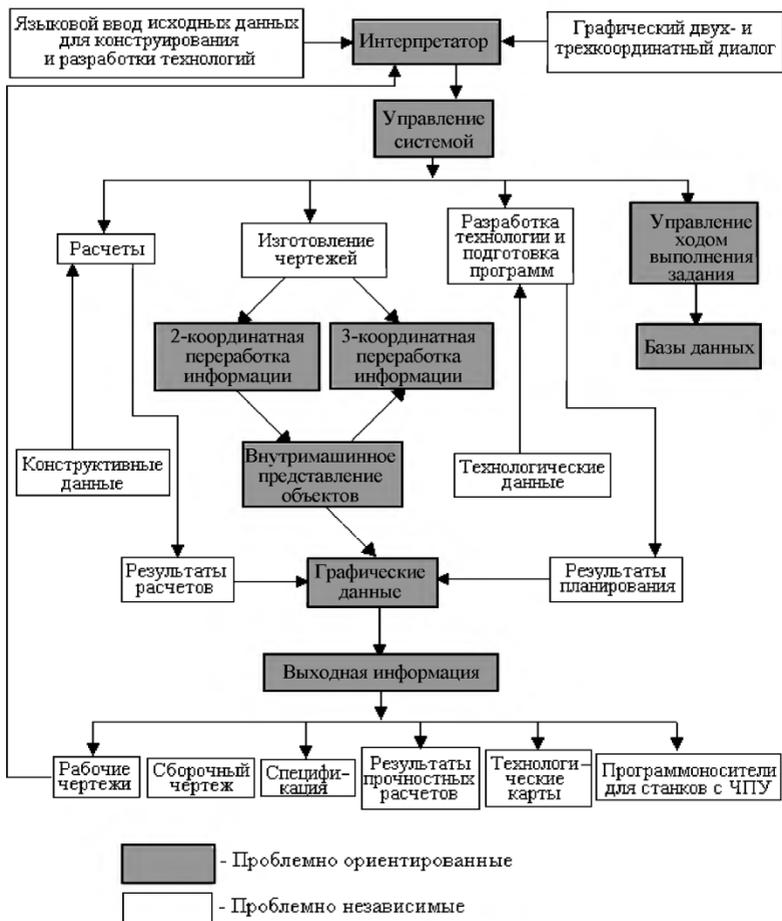


Рис. 3.1. Модульная структура программного обеспечения

Разнообразные задачи проектирования, решаемые в системе САПР, можно объединить в четыре группы функций, которые соответствуют четырем заключительным фазам процесса проектирования по системе Шигли (рис. 3.2).

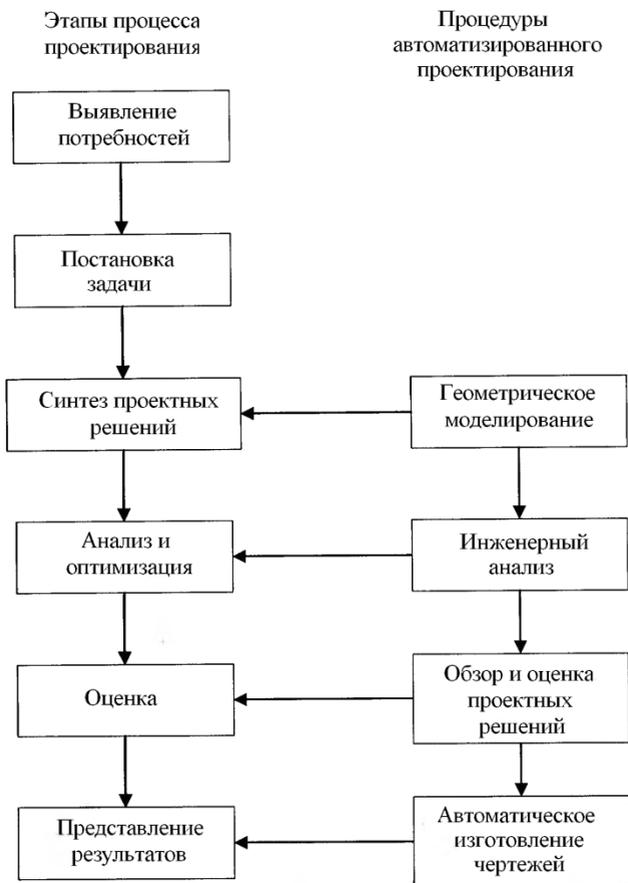


Рис. 3.2. Области использования ЭВМ в процессе проектирования

**Геометрическое моделирование** в рамках САПР связано с получением понятного машине математического описания геометрических свойств объекта. При наличии такого описания образ проектируемого объекта можно воспроизвести на экране графического терминала, а с ним можно манипулировать посредством различных сигналов, идущих от центрального процессора САПР.

Для проведения геометрического моделирования разработчик конструирует графическое изображение объекта на экране терминала системы ИМГ, вводя в машину команды трех типов. Команды первого типа обеспечивают формирование базовых геометрических элементов,

таких как точки, линии и окружности. По командам второго типа осуществляется масштабирование, повороты изображения и прочие преобразования базовых элементов. С помощью команд третьего типа производится компоновка различных элементов в целостное изображение проектируемого объекта.

В ходе геометрического проектирования машина преобразует поступающие сигналы в компоненты математической модели, запоминает нужную информацию в файлах данных и отображает полученную модель проектируемого объекта на экране терминала. Впоследствии эта модель может извлекаться из машинных файлов в целях проведения обзора, анализа, изменения.

Существует несколько различных методов представления объекта при геометрическом моделировании. Основным является представление объекта в каркасной форме, когда он изображается совокупностью соединительных линий. Каркасное геометрическое моделирование существует в трех видах — в зависимости от конкретных возможностей системы ИМГ:

- 2-мерное (типа 2Д) - для плоских объектов;
- 2,5-мерное, позволяющее воспроизводить на экране трехмерные объекты, не имеющие деталей с боковыми стенками;
- 3-мерное (типа 3Д), дающее возможность моделировать сложные геометрические объекты в трехмерном отображении.

Необходимо отметить, что в случае, когда достаточно трехмерного проектирования для отображения сложных форм проектируемого объекта, существуют различные методы расширения каркасного моделирования.

Наиболее совершенный метод геометрического моделирования — это объемное представление монолитных тел. При использовании этого метода проектируемый объект конструируется из монолитных геометрических тел, называемых графическими монолитами.

Еще одна возможность САПР — это цветная графика, что позволяет выделять отдельные компоненты сборочных узлов, подчеркивать объемность и достигать другие цели.

**Инженерный анализ.** При выполнении проекта требуется проведение процедуры анализа. Этот анализ может включать расчеты механических напряжений и усилий, тепловых процессов, дифференциальных уравнений, описывающих динамическое поведение проектируемого объекта, аппаратурный расчет и т.д. В целом в ряде случаев для этого удастся использовать универсальные программы инженерного анализа, в других случаях требуется разработка специальных программ для решения конкретных задач.

В готовых к непосредственному применению САПР такие средства либо предусматриваются в составе системного программного обеспечения, либо могут включаться потом в библиотеку программ и вызываться для использования в процессе работы с каждой конкретной моделью проектируемого объекта. Если полученные результаты анализа свидетельствуют о нежелательных свойствах поведения проектируемого объекта, конструктор имеет возможность изменить его форму и повторить анализ, например, методом конечных элементов для пересмотренной конструкции.

**Обзор и оценка проектных решений.** Проверку точности проектирования можно легко выполнить с использованием графического терминала. Полуавтоматические стандартные программы определения размеров и допусков, привязывающие размерные характеристики к указываемым пользователем поверхностям, позволяют сократить число ошибок в определении размеров. Часто в процессе обзора используется процедура разбиения на слои.

Еще одна процедура, реализуемая в анализе проектных решений, состоит в проверке взаимных наложений. Эта процедура связана с контролем местоположения элементов компоновочного узла, так как существует риск установки их на места, уже занятые другими компонентами. Подобный риск особенно реален при проектировании химических заводов, холодильных установок и разного рода трубопроводов сложной конфигурации.

Одно из наиболее интересных средств оценки проектных решений — это кинематические модели. Стандартные коммерческие пакеты кинематики обеспечивают возможность динамического воспроизведения движения простых проектируемых механизмов вроде шарниров и сочлененных звеньев. Наличие таких средств анализа расширяет возможности конструктора в части визуального наблюдения за работой механизма и помогает гарантировать отсутствие столкновений с другими объектами.

### **3.3. Автоматическое изготовление чертежей**

Автоматическое черчение предполагает получение выполненных на бумаге конструкторских чертежей непосредственно на базе данных САПР. Производительность САПР на указанной операции по сравнению с чертежником возрастает примерно в пять раз. Функциональные возможности ИМГ в процедурах изготовления чертежей проявляются в автоматическом определении размеров, штриховки нужных облас-

тей, масштабировании, а также в построении разрезов и изометрии, увеличении изображений конкретных элементов деталей.

**Классификация и кодирование деталей.** В дополнении к четырем выше описанным функциям САПР следует отнести еще одно достоинство САПР: ее база данных может использоваться для разработки системы классификации и кодирования деталей. Смысл этой системы состоит в том, что подобные детали группируются в классы, и свойство их подобия отображается в схеме кодирования. В результате конструкторы могут использовать систему классификации и кодирования в своей работе для отыскания уже существующих конструкций деталей вместо проектирования их каждый раз заново.

**Формирование производственной базы данных.** Одной из причин, по которой внедрение САПР особенно оправдано, является возможность создания базы данных, необходимых для последующего изготовления проектируемых изделий. В настоящее время существуют автоматизированные системы, в которых на этапе проектирования создается львиная доля информации и документации, необходимой для планирования производственного процесса и управления технологическими операциями изготовления спроектированных изделий.

Производственная база данных представляет собой интегрированную базу данных, единую для САПР и автоматизированной системы управления производственными процессами. Она содержит всю информацию об изделии, сформированную в процессе его проектирования, а также некоторые дополнительные сведения, необходимые для производства и получаемые на основе проектных данных.

### **3.4. Основные преимущества автоматизации проектирования**

Автоматизация проектирования обеспечивает целый ряд преимуществ и выгод, но лишь некоторые из них поддаются количественной оценке. Частично эффективность САПР достигается за счет неявных факторов: улучшения качества работы, получения более содержательной и более полезной информации, совершенствования процесса управления. И все эти факторы трудно выразить количественно.

Некоторые другие выгоды сами по себе поддаются количественному выражению, однако, их результат проявляется на более поздних стадиях производственного процесса и поэтому трудно бывает оценить соответствующие выгоды при проектировании. Целый ряд статей экономического эффекта от внедрения САПР можно измерить непосредственно, к их числу относятся:

- увеличение производительности труда конструктора;

- сокращение длительности циклов производства;
- уменьшение требуемого числа конструкторов-проектировщиков;
- обеспечение более быстрой реакции на запросы пользователей САПР, касающиеся использования стандартных деталей;
- минимизация числа ошибок, связанных с ручным оформлением документов;
- повышение точности проектирования;
- автоматизация процесса подготовки технической документации;
- стандартизация проектных решений;
- улучшение качества проектных разработок;
- совершенствование внесения конструкторских изменений;
- повышение разборчивости и информативности чертежей.

### 3.5. Основные требования к САПР

Основные требования к САПР связаны в основном с их эксплуатационными характеристиками, универсальностью САПР, а также возможностью адаптации к быстроменяющимся условиям проектирования и производства. К основным требованиям относятся:

**1. Простой доступ пользователя к САПР.** Под простым доступом понимается возможность реализации проектной процедуры, необходимой пользователю, на основе специальных языковых средств, ориентированных на пользователя. Система автоматизированного проектирования снимает с пользователя трудоемкие задачи создания математического описания и программирования модели. Чем выше «интеллект» системы, тем более прост и лаконичен язык общения пользователя с САПР. Основой простоты взаимодействия пользователя с системой САПР является программное обеспечение. Внешне эта простота проявляется в виде соответствующих языков, ориентированных на взаимодействие пользователя с САПР.

**2. Прямой доступ пользователя к САПР.** Под прямым доступом понимается возможность непосредственного обращения пользователя к программно-информационным средствам САПР, иначе говоря, возможность оперативного ввода данных и отображение результатов проектирования. В подобном режиме прямого доступа пользователь может формировать и отлаживать программу, вводить новые данные, получать в виде распечаток и графических результатов проектные и расчетные операции.

Режим прямого доступа в САПР способствует исключению из технологического цикла проектирования промежуточных звеньев, позволяет

сосредоточить проектные работы в одном центре. Иначе говоря, средства прямого доступа обеспечивают централизацию проектирования.

Подобная централизация резко повышает эффективность техпроцесса благодаря предельному сокращению пауз между отдельными процедурами и тем самым повышает наполненность содержательными работами и сокращает общее время технологического процесса проектирования (рис. 3.3).

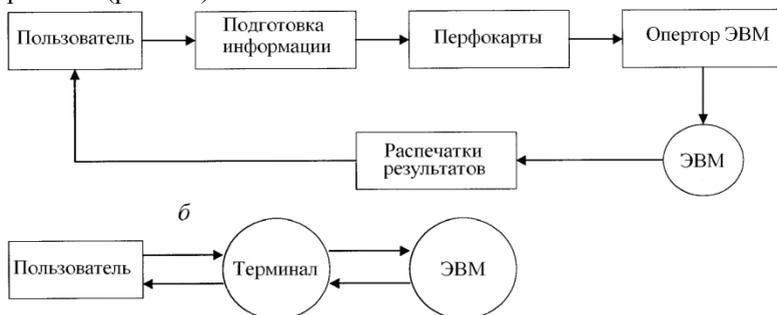


Рис. 3.3. Схема взаимодействия пользователя со средствами САПР: а — пакетный режим; б — диалог с использованием терминала

**Требования к пользователю САПР.** Для настоящего времени будущие пользователи автоматизированного проектирования (АП) во время их профессиональной учебы недостаточно или совершенно не готовятся к работе с САПР. Это замечание, прежде всего, относится к направленности курсов основных дисциплин, которые почти исключительно ориентированы на традиционные методы обучения или работы. Для пользователя прежде всего необходимо знание обработки данных, английского языка и дисциплины.

Все САПР ориентированы на пользователя, т.е. внутренние процессы, происходящие в САПР, остаются для пользователя в большинстве случаев скрытыми. Все же целесообразно уметь мысленно воспроизводить последовательность действий системы, что позволяет предотвращать заведомо нереалистические представления и приемы работы.

Большинство работающих сейчас систем по «происхождению» англоязычные или же создавались для экспортных поставок, и в них английский язык используется как основной. Хотя перевод системы на другие языки принципиально возможен, но с этим связан большой объем работы. Диалог между пользователем и системой происходит на простейшем английском языке, насыщенном специальными терминами АП.

Эксплуатация САПР предполагает соответствующую учебу. Содержание и объем подготовки ориентированы в каждом случае на кон-

вейерную систему, на которой предстоит работать будущему пользователю, так как содержание и объем курса весьма специфичны, он не может являться составной частью общеобразовательной подготовки и, как правило, пользователь обучается на курсах повышения квалификации.

**Универсальность программного обеспечения (ПО) и адаптация САПР к условиям проектирования.** Универсальность определяется степенью инвариантности программ по отношению к проектным задачам. Универсальное программное обеспечение позволяет решать с помощью одних и тех же средств широкий круг проектных задач.

Адаптируемость и универсальность САПР подчинены по сути одним целям. Оба понятия связаны с созданием программно-информационных средств, обеспечивающих выполнение проектных работ по широкому классу изделий при различных изменяющихся условиях проектирования. Однако адаптируемость, в отличие от универсальности, предполагает, главным образом, возможность включения в систему новых программных средств и расширения базиса структурного синтеза для отслеживания непредусмотренных изменений среды проектирования.

К изменениям среды относятся: смена используемой в проектировании базы, изменение конструктивов, смена технологических требований, изменение парка исполнительных автоматов, смена состава и формы конструкторской документации, появление более современных методов (алгоритмов) проектирования. Средства адаптации обеспечивают долговечность и живучесть системы.

Адаптация в современных САПР осуществляется реализацией двух основных принципов:

- модульных принципов построения структуры программного обеспечения (ПО);
- отделения данных от программы и создания самостоятельно функционирующей базы данных, связанной стандартным программным интерфейсом с программными модулями.

Модульный принцип предполагает возможность включения и выключения отдельных процедур без нарушения функционирования САПР. Это позволяет при необходимости заменить одни программные модули другими и вставить новые.

Создание баз данных является обязательным условием реализации модульного принципа, поскольку в этом случае исключение отдельной программы не нарушает целостность информационного взаимодействия программных средств. База данных в САПР является сосредоточением (библиотекой) математических модулей элементного базиса проектирования, т. е. того базиса, из которого формируются модели сложных объектов.

### 3.6. Связь САПР с производством, расширение области применения

При использовании САПР для изготовления объекта необходим огромный объем проектной информации. При традиционных ручных способах производства САПР должна поставлять текстовую и графическую конструкторскую документацию с описанием технологических процессов. При автоматизированном производстве отдельной для САПР является постановка программ для станочного парка с ЧПУ и автоматом контроля.

Входные и выходные данные расчетов нередко имеют непосредственное отношение к геометрии конструируемых объектов. Поэтому предпринимаются попытки увязать расчеты с графическими процедурами или полностью интегрировать их в процесс АП.

Важным видом расчета является метод конечных элементов, применяемый тогда, когда сложность детали уже не позволяет использование аналитических методов. Методом конечных элементов (МКЭ) сложные детали конструкции расчленяют на простые основные элементы, которые легко поддаются расчету. Путем стыковки соседних элементов получают большое число уравнений (систему) со многими неизвестными, часто многими тысячами неизвестных. Решение таких систем доступно только высокопроизводительным ЭВМ, т. к. для этого требуется выполнение огромного количества арифметических операций.

Распространенными областями применения МКЭ являются прочностные расчеты, распределение температур и др. При этом результаты расчетов могут быть представлены графически, например, в виде линий напряжений или деформаций. Связь других объемных геометрических расчетов с САПР почти всегда находится через интерфейсы. На практике это значит, что работают две независимые друг от друга программные системы, которые могут между собой обмениваться данными.

Так, например, результаты расчета зубчатого зацепления могут быть переданы САПР в качестве геометрических элементов, а там подвергаться дальнейшей обработке любым образом для использования при выполнении штриховки или нанесения размеров.

**Вариантное конструирование.** Возможность вариантного конструирования используется в случае, когда существует постоянная потребность в формировании чертежей деталей, которые могут быть выполнены путем варьирования по жесткой схеме. Различают размерные варианты и варианты формы.

**Генерирование спецификаций.** С целью составления спецификаций информация, хранящаяся в памяти ЭВМ, преобразуется и затем используется. При этом обязательны две предпосылки:

- требуемая информация, а также и ее необходимая форма должны быть введены заранее вместе с чертежом;
- САПР должна уметь обрабатывать эту информацию, т.е. должна располагать соответствующим интерфейсом.

Лучше всего удается составить спецификацию, когда каждая отдельная деталь выполняется автономно, снабжается требуемым обозначением для составления сборочного чертежа и затем вызывается из банка данных. Программы, предназначенные для составления спецификаций, должны обеспечить чтение и использование данных чертежей и, в случае необходимости, автоматически корректироваться.

**Интерфейсы с банком данных.** Если в рамках одной САПР решение всех задач пользователя не обеспечивается, то она должна предоставить возможность посредством интерфейса АП — банка данных — считать хранящуюся в нем информацию или записать в него требуемые данные.

В основном каждый изготовитель САПР пользуется собственными интерфейсами, т.к. отсутствуют общепринятые нормы, по которым могли бы обмениваться данными АП.

**Отыскивание деталей-аналогов.** Ведутся разработки, которые позволяют осуществлять просмотр чертежей, полученных при АП, на экране графического дисплея. При этом алфавитно-цифровой поиск деталей повторного использования по предметным признакам комбинируется с быстрым «перелистыванием» чертежей.

**Влияние новой технологии.** При внедрении САПР для предприятий важной характеристикой является экономия рабочего времени. Из литературных источников следует, что с применением АП объем работ, связанный с чертежной доской, уменьшается вдвое, а в отдельных специальных случаях — в 20 раз. Продуктивное использование САПР означает не столько минимизацию конструкторских работ, сколько достижение оптимального соотношения между объемом работы и ее результатом.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ

#### Общие требования

Техническое задание (далее — ТЗ) подготавливается по приведенной ниже структуре. Объем ТЗ не ограничен.

#### Требования к тексту ТЗ

Текст ТЗ должен быть кратким, четким и не допускать различных толкований.

При изложении обязательных требований в тексте должны применяться слова «должен», «следует», «необходимо» и производные от них.

Каждое требование оформляется в виде отдельного пронумерованного пункта ТЗ.

Величины, определяющие требования и технические характеристики изделия, указываются с допускаемыми отклонениями или оговариваются их максимальные или минимальные значения.

Статистические параметры задаются с указанием уровня вероятности, которому соответствует данное значение параметра.

В ТЗ должны применяться научно-технические термины, обозначения и определения, установленные соответствующими стандартами, а при их отсутствии — общепринятые в научно-технической литературе.

Если в ТЗ принята специфическая терминология, то в конце его должен быть приведен перечень принятых терминов с соответствующими разъяснениями.

В тексте ТЗ не допускается:

- применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;

- сокращать обозначения единиц физических величин, если они употребляются без цифр;

- применять сокращения слов, кроме установленных правилами орфографии, пунктуации;

- употреблять математические знаки без цифр, например,  $\leq$  (меньше или равно),  $\geq$  (больше или равно),  $\neq$  (не равно), а также знаки № (номер), % (процент);

- использовать в тексте математический знак минус (–) перед отрицательными значениями величин. Вместо математического знака (–) следует писать слово «минус»;

– применять индексы стандартов (ГОСТ, ОСТ, СТП, СТСЭВ) без регистрационного номера.

Если в ТЗ принята особая система сокращения слов и наименований, то в конце ТЗ приводят перечень принятых сокращений. Небольшое количество сокращений можно расшифровать непосредственно в тексте при первом упоминании, например, нормативно-техническая документация (НТД).

Обозначения и написание единиц физических величин должны соответствовать ГОСТ 8.417-81.

Ссылки на стандарты (кроме стандартов предприятий), технические условия и другие документы при условии, что они полностью и однозначно определяют соответствующие требования. Ссылаться следует на документ в целом или на его разделы и приложения. Ссылки на подразделы, пункты, таблицы и иллюстрации не допускаются.

При ссылках на стандарты и технические условия указывают только их обозначения. При ссылках на другие документы указывают наименование документа. При ссылке на раздел или приложение указывают его номер и наименование, при повторных ссылках — только номер.

#### **Перечень нормативно-технической документации, упомянутой в ТЗ и инструкции к нему**

ГОСТ 2.101-68 ЕСКД. Виды изделий.

ГОСТ 2.114-95 ЕСКД. Технические условия.

ГОСТ 2.711-82 ЕСКД. Схема деления изделия на составные части.

ГОСТ 3.1120-83 ЕСКД. Общие правила отражения и оформления требований безопасности труда в технологической документации.

ГОСТ 8.009-84 Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.

ГОСТ Р 8.654-2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Требования к программному обеспечению средств измерений. Основные положения.

ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.2.049-80 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.

ГОСТ 12.3.002-75 (2000) Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные. Общие требования безопасности.

ГОСТ Р 12.3.047-98 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.

ГОСТ Р 15.011-96 Система разработки и постановки продукции на производство. Патентные исследования. Содержание и порядок проведения.

ГОСТ 15.012-84 Система разработки и постановки продукции на производство. Патентный формуляр.

ГОСТ 15.309-98 Системы разработки и постановки продукции на производство. Испытания и приемка выпускаемой продукции. Основные положения.

ГОСТ 17.9.0.2-99 Технический паспорт отхода. Состав, содержание, изложение и правила внесения изменений.

ГОСТ 19.001-77 ЕСПД. Общие положения.

ГОСТ 19.102-77 ЕСПД. Стадии разработки.

ГОСТ 19.201-78 ЕСПД. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению.

ГОСТ 19.301-79 ЕСПД. Программа и методика испытаний. Требования к содержанию и оформлению.

ГОСТ 27.003-90 Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности.

ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.

ГОСТ 27.003-90 Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности.

ГОСТ 27.203-83 Надежность в технике. Технологические системы. Общие требования к методам оценки надежности.

ГОСТ 27.204-83 Надежность в технике. Технологические системы. Технические требования к методам оценки надежности по параметрам производительности.

ГОСТ 27.301-95 Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения.

ГОСТ 28.001-83 Система технического обслуживания и ремонта техники. Основные положения.

ГОСТ ИСО/ТО 12100-1-2001 Безопасность оборудования. Основные понятия, общие принципы конструирования. Часть 1. Основные термины, методика.

ГОСТ ИСО/ТО 12100-2-2002 Безопасность оборудования. Основные понятия, общие принципы конструирования. Часть 2. Технические правила и технические требования.

ГОСТ Р ИСО 14031-2001 Управление окружающей средой. Оценка экологической эффективности. Общие требования.

ГОСТ 15467-79 Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения.

ГОСТ 15543.1-89 Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к климатическим внешним воздействующим факторам.

ГОСТ 16504-81 Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения.

ГОСТ 17516.1-90 Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам.

ГОСТ 17527-86 Упаковка. Термины и определения.

ГОСТ 18322-78 Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения.

ГОСТ 20911-89 Техническая диагностика. Термины и определения.

ГОСТ 21623-76 Система технического обслуживания и ремонта техники. Показатели для оценки ремонтпригодности. Термины и определения.

ГОСТ 21964-76 Внешние воздействующие факторы. Номенклатура и характеристики.

ГОСТ 23216-78 Изделия электротехнические. Хранение, транспортирование, временная противокоррозионная защита, упаковка. Общие требования и методы испытаний.

ГОСТ 23660-79 Система технического обслуживания и ремонта техники. Обеспечение ремонтпригодности при разработке изделий.

ГОСТ 23875-88 Качество электрической энергии. Термины и определения.

ГОСТ 24682-81 Изделия электротехнические. Общие технические требования в части стойкости к воздействию специальных сред.

ГОСТ 25866-83 Эксплуатация техники. Термины и определения.

ГОСТ 26656-85 Техническая диагностика. Контролепригодность. Общие требования.

ГОСТ 26883-86 Внешние воздействующие факторы. Термины и определения.

ГОСТ 27518-87 Диагностирование изделий. Общие требования.

ГОСТ 27833-88 Средства отображения информации. Термины и определения.

ГОСТ 30166-95 Ресурсосбережение. Основные положения.

ГОСТ 30167-95 Ресурсосбережение. Порядок установления показателей ресурсосбережения в документации на продукцию.

ГОСТ 30631-99 Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам при эксплуатации.

ГОСТ 30772-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения.

ГОСТ 30774-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Паспорт опасности отходов. Основные требования.

ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов. Основные положения.

ГОСТ 30848-2003 Диагностирование машин по рабочим характеристикам. Общие положения.

ГОСТ Р 50948-2001 Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности.

ГОСТ Р 50949-2001 Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности.

ГОСТ Р 51474-99 Упаковка. Маркировка, указывающая на способ обращения с грузами.

ГОСТ Р 51672-2000 Метрологическое обеспечение испытаний продукции для целей подтверждения соответствия. Основные положения.

ГОСТ 51908-2002 Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части условий хранения и транспортирования.

ГОСТ Р 52104-2003 Ресурсосбережение. Термины и определения.

ГОСТ Р 52107-2003 Ресурсосбережение. Классификация и определение показателей.

СНиП 2.09.04-87 Административные и бытовые здания.

МИ 2233-2000 ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Основные положения.

МР 21.03-99 Пособие по исходным требованиям к разработке конструкторской документации на оборудование индивидуального изготовления.

ПР 50.2.009-94 Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерений.

Р 50-601-20-91 Рекомендации по оценке точности и стабильности технологических процессов (оборудования).

РД 09-251-98 Положение о порядке разработки и содержания раздела "Безопасная эксплуатация производств" технологического регламента.

РМГ 62-2003 ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Оценивание погрешности измерений при ограниченной исходной информации.

РМГ 63-2003 ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации.

СП 2.2.2.1327-03 Гигиенические требования к организации технологических процессов, производственному оборудованию и рабочему инструменту.

**Пояснения к заполнению разделов ТЗ**  
(Разделы ТЗ должны содержать следующие сведения:)<sup>1</sup>

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ**

на выполнение опытно-технологической работы (ОТР) по теме:

" \_\_\_\_\_ "

*(указывается тема работы, например «разработка технологии производства этилового спирта из древесины»)<sup>2</sup>*

**1. Основание для проведения ОТР**

Требования не устанавливаются.

**2. Исполнитель ОТР**

Требования не устанавливаются.

**3. Цель выполнения ОТР**

**4. Назначение разработки**

*(При наличии нескольких технологий/технологических процессов (далее — ТП) указывается для каждого ТП:)*

**Например:**

"4.1. Разрабатываемая технология (далее — Технология) предназначена для изготовления спирта этилового ректификованного ГОСТ Р 51652-2000 из различных видов зерна, картофеля, сахарной свеклы, сахара-сырца, мелассы и другого сахаро- и крахмалосодержащего пищевого сырья (за исключением плодово-ягодного) путем брагоректификации спиртовой бражки или ректификации этилового спирта-сырца, а также головной фракции этилового спирта, полученной при производстве спирта из пищевого сырья."

**5 Технические требования**

**5.1 Характеристика продукции, изготовление которой обеспечивается разрабатываемым технологическим процессом**

*(Для каждого разрабатываемого ТП и вида продукции)*

---

<sup>1</sup> Здесь и далее в круглых скобках курсивом приведен пояснительный текст.

<sup>2</sup> Здесь и далее в *(круглых скобках курсивом)* приведен пояснительный текст, который должен быть удален при заполнении формы.

**Например:**

"5.1.1. Разрабатываемая Технология должна обеспечивать изготовление спирта этилового ректифицированного со следующими характеристиками:

5.1.1.1. Наименование продукции (*указывается: химическое название, структурная формула, тривиальное название, синонимы, международное название*):

- 1) химическое название — этиловый спирт;
- 2) формула —  $C_2H_5OH$ ;
- 3) тривиальное название — винный спирт;
- 4) синоним — Spiritus vini;
- 5) международное название — Spiritus aethylicus, этанол.

5.1.1.2. Основное назначение продукции (*указывается назначение и область применения, в том числе возможность вытеснения из практики менее эффективных материалов (веществ)*): спирт этиловый ректифицированный предназначен для производства алкогольных напитков, парфюмерно-косметических изделий и для поставки на экспорт.

5.1.1.3. Внешний вид и потребительские свойства продукции (*указываются основные свойства и качество выпускаемой продукции, физико-химические свойства и константы: внешний вид, плотность, растворимость, температуры застывания или плавления, кипения, упругость паров, вязкость, электропроводность, диэлектрическая постоянная, количество примесей, твердость, температура плавления, показатель преломления, коэффициент теплового расширения, теплопроводность и другие показатели*):

- 1) по органолептическим показателям спирт этиловый ректифицированный должен соответствовать требованиям, указанным в табл. 1;

Таблица 1

Наименование показателя	Характеристика
Внешний вид	Прозрачная жидкость без посторонних частиц
Цвет	Бесцветная жидкость
Вкус и запах	Характерные для конкретного наименования этилового ректифицированного спирта, выработанного из соответствующего сырья, без привкуса и запаха посторонних веществ

- 2) по физико-химическим показателям спирт этиловый ректифицированный должен соответствовать требованиям, указанным в табл. 2.

Таблица 2

Наименование показателя	НОРМА	Методы анализа
Объемная доля этилового спирта, %, не менее	96,0	ГОСТ 5964 или ГОСТ Р 51698
Проба на окисляемость, мин, при 20 °С, не менее	10	ГОСТ 5964 или ГОСТ Р 51698
Массовая концентрация уксусного альдегида в пересчете на безводный спирт, мг/л, не более	10	ГОСТ Р 51698
Массовая концентрация сивушного масла: -1-пропанол, 2-пропанол, спирт изобутиловый, 1-бутанол, спирт изоамиловый в пересчете на безводный спирт, мг/л, не более	35	ГОСТ Р 51698
Изоамиловый и изобутиловый спирты (3:1) в пересчете на безводный спирт, мг/л, не более	15	ГОСТ 5964 или ГОСТ Р 51698
Массовая концентрация сложных эфиров в пересчете на безводный спирт, мг/л, не более	30	ГОСТ 5964 или ГОСТ Р 51698
Объемная доля метилового спирта в пересчете на безводный спирт, %, не более	0,05	ГОСТ 5964 или ГОСТ Р 51698
Массовая концентрация свободных кислот (без СО ) в пересчете на безводный спирт, мг/л, не более	20	ГОСТ 5964 или ГОСТ Р 51698
Массовая концентрация сухого остатка в пересчете на безводный спирт, мг/дм , не более	—	Перспективный
Массовая концентрация азотистых летучих оснований, в пересчете на азот, в 1 л безводного спирта, мг, не более	—	"

5.1.1.4. Требования к упаковке, маркировке, транспортированию, условиям хранения продукции (*требования указываются в соответствии с нормативно-технической документацией на данную или аналогичную продукцию*):

1) спирт этиловый ректификованный разливают в специально оборудованные и предназначенные для него цистерны или резервуары, изготовленные из материалов, разрешенных Минздравом России для контакта с продуктом данного вида. Допускается разливать спирт в чистые бочки по ГОСТ 13950 или по ГОСТ 6247, бутылки, канистры по ГОСТ 5105 и другие емкости, изготовленные из материалов, разрешенных Минздравом России для контакта с продуктом данного вида,

которые должны быть опечатаны или опломбированы. Упаковка и укупорка тары с этиловым ректификованным спиртом должны обеспечивать его сохранность и соответствовать требованиям ГОСТ 26319.

2) транспортная маркировка - по ГОСТ 14192. Маркировка, характеризующая транспортную опасность груза, - по ГОСТ 19433 с указанием следующей информации:

- наименование предприятия-изготовителя, его адрес;
- наименование продукции;
- объем, дал;
- масса брутто, кг;
- номер бочки, бутылки, канистры и партии;
- надпись "легковоспламеняющаяся жидкость";
- знак опасности; классификационный шифр 3212; номер ООН – 1170;

3) спирт этиловый ректификованный транспортируют всеми видами транспорта в соответствии с правилами перевозки опасных грузов, действующими на данном виде транспорта, и правилами перевозки жидких грузов наливом в вагонах-цистернах, действующими на железнодорожном транспорте;

4) хранение спирта этилового ректификованного осуществляют в соответствии с инструкцией по приемке, хранению, отпуску, транспортированию и учету этилового спирта, утвержденной в установленном порядке;

5.1.1.5. Срок годности: *(указывается, если такое требование предъявляется к данной или аналогичной продукции):*

срок годности и хранения спирта этилового ректификованного не ограничен."

## **5.2. Требования к разрабатываемым технологическим процессам** *(Устанавливаются по каждому разрабатываемому ТП)*

### **5.2.1. Перечень технологических операций, входящих в состав разрабатываемого технологического процесса**

*(Приводится перечень технологических операций (ТО), входящих в состав разрабатываемого технологического процесса (ТП). Обязательно должны быть предусмотрены операции контроля продукции. Указывается, какие ТО разрабатываются вновь, какие дорабатываются, какие заимствуются без доработки.)*

#### **Например:**

"5.2.1.1. Разрабатываемая Технология должна включать следующие технологические (далее — ТО) и контрольные (далее — КО) операции:  
1) ТО 1. Вспомогательные работы:

- ТО 1.1. Приготовление дезинфицирующих растворов (заимствуется);
- ТО 1.2. Санитарная подготовка оборудования, помещений, персонала (заимствуется);
- ТО 1.3. Подготовка воды (заимствуется);
- КО 1. Контроль микробиологический (далее – Кмб) (разрабатывается);
- 2) ТО 2. Приготовление масляного комплексного экстракта:
  - ТО 2.1 Измельчение растительного сырья (разрабатывается);
  - ТО 2.2. Замачивание сырья (разрабатывается);
  - ТО 2.3. Экстрагирование (разрабатывается);
  - ТО 2.4. Фильтрация масляного экстракта (заимствуется);
  - ТО 2.5. Отделение шрота (дорабатывается в части <...>);
- КО 2. Контроль технологический (далее — Кт) (разрабатывается);
- КО 3. Контроль химический (далее — Кх) (разрабатывается);
- 3) ТО 3. Фасовка, упаковка и маркировка:
  - ТО 3.1. Фасовка масляного экстракта (дорабатывается в части <...>)
  - ТО 3.2. Упаковка готовой продукции (дорабатывается в части <...>)
- КО 4. Кмб;
- КО 5. Кт;
- КО 6. Кх;
- 4) ТО 3. Регенерация растворителя (разрабатывается)."

### **5.2.2. Нормы и количественные показатели технологического процесса**

*(Термины и определения по ГОСТ 15467-79. Устанавливаются нормы и количественные показатели ТО, определяющие эффективность ТП (точность выполнения операций, диапазон, производительность, удельный расход энергии и т.п.).*

#### **Например:**

"5.2.2.1. Разрабатываемый Технологический процесс должен обеспечивать следующие показатели:

- 1) производительность – не менее 780 кг в смену;
- 2) удельный расход энергии – не более 5 кВт/час;
- 3) <...>"

### **5.2.3. Технические характеристики технологических операций**

*(Устанавливаются технические характеристики (параметры) ТО, обеспечивающие выполнение возложенных на ТП задач (температура, давление, вакуум, основные и побочные реакции, тепловые эффекты, объемные скорости, типы катализаторов, рецептуры и т.п.).*

**Например:**

"5.2.3.1. Разрабатываемый технологический процесс должен обеспечивать технические характеристики технологических операций приведенные в таблице <...>:

Таблица <...>

Наименование стадии (операции)	Параметры технологического процесса					
	Наименование	Значение				
		технологическая норма		предельно безопасное	предельно допустимое	критическое
мин.	макс.					
ТО 2.1. Измельчение растительного сырья	Измельченность, мм	0,5	12	0,5	15	20
ТО 2.2. Замачивание сырья	Время, ч	2	4	1	24	72
ТО 2.3. Экстрагирование	Время, мин Температура, °С	5	12	10	20	30
		35	45	45	50	60
ТО 2.4. Фильтрация масляного экстракта	Качество фильтра	Отсутствие видимых механических включений	Отсутствие видимых механических включений			
ТО 3.1. Фасовка масляного экстракта	Наполнение, кг	1	20			

#### **5.2.4. Требования к качеству технологического процесса**

*(Термины, определения, параметры и показатели по ГОСТ 27.003-90, ГОСТ 27.203-83, ГОСТ 27.204-83, ГОСТ 15467-79, Р 50-601-20-91.*

*Устанавливаются требования показателей качества разрабатываемого ТП: допустимый процент выхода годного вещества, надежность, точность, стабильность и другие показатели)*

#### **Например:**

"5.2.4.1. Разрабатываемый технологический процесс должен обеспечивать следующие показатели качества:

- 1) допустимый процент выхода годного вещества – 85%, не менее;
- 2) масса единицы продукции –  $0,3 \text{ г} \pm 10\%$ ;
- 3) срок годности вещества – не менее 3 лет;
- 4) <...>"

"5.2.2.1. Разрабатываемая Технология должна обеспечивать следующие показатели:

- 1) выход углерода в нерудной фракции не более 1- 2 %;
- 2) выход тяжелых металлов в рудной фракции не менее 90 %;
- 3) извлечение ценных компонентов не менее 70 %;
- 4) <...>"

#### **5.3. Требования к сырью и материалам**

*(Устанавливаются по каждому разрабатываемому ТП.*

*Устанавливаются требования к физико-химическим, механическим и другим свойствам отдельных видов сырья, определяющих качество производства.*

*Данные, характеризующие исходное сырье, материалы, полупродукты и энергоресурсы, следует систематизировать в виде таблицы. В таблицу включаются все виды сырья, материалы, полупродукты и энергоресурсы, используемые в разрабатываемом технологическом процессе (-ах). Все показатели, включенные в таблицу, приводятся с допустимыми отклонениями.*

*При необходимости особо оговариваются специальные требования к сырью, материалам, полупродуктам и энергоресурсам, используемым в разрабатываемом технологическом процессе (-ах))*

#### **Например:**

"5.3.1. В разрабатываемом технологическом процессе должны использоваться материалы и сырье, указанные в таблице <...>:"

Таблица &lt;...&gt;

№ п/п	Наименование сырья, материалов, полупродуктов	ГОСТ, ОСТ, СТП, ТУ, регламент или методика на подготовку сырья	Регламентируемый показатель	Значение показателя
1	Вода питьевая	ГОСТ 2874-82	Внешний вид Взвешенные вещества, мг/л, не более Жесткость общая, мг-экв./л, не более рН	Прозрачная бесцветная жидкость без запаха 10 5 6,5...8
2	Растительные масла	НТД изготовителя	Внешний вид Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Вязкая прозрачная жидкость 800...900
3	<...>	<...>	<...>	<...>

5.3.2. Номенклатура применяемых марок и ассортимент сырья и материалов должны быть минимальными.

5.3.3. Применение дефицитного и драгоценного сырья и материалов должно быть минимальным."

#### **5.4. Требования по эксплуатации, удобству технического обслуживания**

*(Устанавливаются по каждому разрабатываемому ТП.*

##### **5.4.1. Рабочие и предельные условия выполнения технологического процесса**

*(Термины, определения, показатели и параметры по ГОСТ 15150-69, ГОСТ 15543.1-89, ГОСТ 17516.1-90, ГОСТ 24682-81, ГОСТ ИСО 14644-1-2002, ГОСТ Р ИСО 14644-8-2008.*

*Устанавливаются рабочие и предельные условия эксплуатации выполнения технологического процесса).*

**Например:**

"5.4.1.1. Разрабатываемый технологический процесс должен выполняться при рабочих и предельных условиях эксплуатации, указанных в таблице <...>:

Таблица <...>

№ п/п	Наименование технологической операции	Условия выполнения ТП		
		Наименование	Значение	
			рабочее	предельно допустимое
1	ТО 2.1. Измельчение растительного сырья	Температура окружающей среды: Относительная влажность воздуха: <...>:	10...20 °С  60 % при 20 °С <...>	35 °С  80 % при 25 °С <...>
2	ТО 2.3. Экстрагирование	Класс чистоты по взвешенным в воздухе частицам:  Класс молекулярных загрязнений в воздухе:	Класс 4 ИСО; эксплуатируемое; заданные размеры частиц: 0,2 мкм (2370 частиц/м <sup>3</sup> ); 1,0 мкм (83 частицы/м <sup>3</sup> ). Класс ИСО-АМС-7,3 (cd).	—  —
	<...>	<...>	<...>	<...>

**5.4.2. Требования к составу и квалификации обслуживающего технологический процесс персонала**

*(Устанавливаются соответствующие значения требований. В случае их наличия, приводятся реквизиты нормативно-технических документов, устанавливающих необходимые требования)*

**Например:**

"5.4.2.1. Разрабатываемый технологический процесс должен обслуживаться персоналом в количестве и с квалификацией, указанными в таблице <...>:

Таблица <...>

№ п/п	Наименование должности, специальности, профессии	Количество	Требуемая квалификация
Оперативный персонал			
1	Начальник смены	1	Высшее техническое образование по специальности <...>, стаж работы не менее 5-х лет
2	Технолог	2	Высшее техническое образование по специальности <...>, стаж работы не менее 3-х лет
3	Аппаратчик	7	Среднее техническое образование по специальности <...>, стаж работы не менее 2-х лет
<...>	<...>	<...>	<...>
Эксплуатационный персонал			
<...>	Инженер	2	Высшее техническое образование по специальности <...>, стаж работы не менее 3-х лет
<...>	Слесарь-ремонтник	4	Профессионально-техническое образование, стаж работы не менее 2-х лет
<...>	<...>	<...>	<...>

5.4.2.2. Оперативный и эксплуатационный персонал должен быть обучен правилам техники безопасности при эксплуатации электроустановок, технологических трубопроводов и сосудов, работающих под давлением."

### **5.4.3. Требования по эксплуатационным режимам технологического процесса**

*(Устанавливаются соответствующие значения требований).*

#### **Например:**

"5.4.3.1. Разрабатываемый технологический процесс должен функционировать в следующих режимах:

- 1) основной режим — технологическое оборудование функционирует в полном объеме с параметрами, установленными технологическим регламентом;
- 2) дежурный режим — при кратковременном сбое подачи основного сырья в режим ожидания переводится следующее технологическое оборудование: <...>;  
<...>.

### **5.4.4. Требования по времени непрерывной или циклической работы технологического процесса**

*(Устанавливаются соответствующие значения требований).*

**Непрерывным** называется такой процесс, в котором конечный продукт вырабатывается до тех пор, пока подводится сырье, энергия, катализаторы, управляющие воздействия. К таким процессам можно отнести, например, процессы переработки нефти.

**Циклическим** является технологический процесс с повторяющимся следованием совокупности различных технологических операций, образующих цикл, в котором, за сравнительно небольшой промежуток времени (часы или дни), вырабатывается определенное, ограниченное количество конечного продукта. При этом в течение отведенного промежутка времени циклический процесс является непрерывным. Примером циклического процесса может быть технологический процесс плавки металла в доменной печи.

**Дискретным** называется технологический процесс, в котором конечный продукт вырабатывается за определенные промежутки времени, и этот процесс можно остановить, а также продолжить с любой технологической операции без снижения заданного уровня качества. Можно назвать такие примеры, как: процесс сборки изделий на конвейере, испытание готовых изделий и т.п.)

**Например:**

"5.4.4.1. Разрабатываемый технологический процесс должен обеспечивать круглосуточную непрерывную работу с остановками на техническое обслуживание не чаще <...>."

"5.4.4.1. Разрабатываемый технологический процесс должен обеспечивать циклическую работу со следующими параметрами цикла:

- 1) загрузка <основное и вспомогательное сырье> — 30 мин.;
- 2) переработка <сырье> в <конечный продукт> — 2 час.;
- 3) выгрузка <конечный продукт> — 30 мин."

**5.4.5. Требования по условиям эксплуатации технологического процесса в аварийных ситуациях**

*(Устанавливаются требования к функционированию разрабатываемого ТП при возникновении аварийных ситуаций (внезапное отключение электроэнергии, внезапное отключение вентиляции, загорание или пожар в производственном помещении, внезапное отключение воды и т.п.))*

**Например:**

"5.4.5.1. Должна быть обеспечена аварийная остановка разрабатываемого технологического процесса при возникновении следующих ситуаций:

- 1) срабатывание предохранительных клапанов;
- 2) образование утечек в системах трубопроводов, емкостях и реакторах;
- 3) внезапное отключение электроэнергии;
- 4) внезапное отключение вентиляции;
- 5) загорание, пожар в производственном помещении;
- 6) внезапное отключение воды;
- 7) засорение канализации.

5.4.5.2. Аварийная остановка разрабатываемого технологического процесса не должна:

- 1) создавать опасности для работающего персонала;
- 2) создавать опасности для окружающей среды;
- 3) приводить к выходу из строя технологического оборудования."

**5.4.6. Требования к системе эксплуатационного контроля технологического процесса**

*(Термины, определения, параметры и показатели по ГОСТ 20911-89, ГОСТ 26656-85, ГОСТ 27518-87, ГОСТ 30848-2003.*

Устанавливаются требования к системе эксплуатационного контроля технологического процесса).

**Например:**

"5.4.6.1. Система эксплуатационного контроля разрабатываемого технологического процесса должна обеспечивать заданную точность поддержания технологических параметров, надежность и безопасность выполнения технологического процесса путем технического диагностирования и/или контроля технического состояния технологического оборудования и аппаратуры, указанной в таблице <...>:

Таблица <...>

№ п/п	Наименование технологической операции	Наименование технологического оборудования (аппаратуры)	Вид определения технического состояния объекта
1	ТО 2.1. Измельчение растительного сырья	Шаровая мельница Транспортер	Контроль технического состояния Контроль технического состояния
2	ТО 2.3. Экстрагирование	Реактор-экстрактор Насос высокого давления	Техническое диагностирование Контроль технического состояния
	<...>	<...>	<...>

**5.5. Требования по ресурсосбережению**

(Термины, определения, параметры и показатели по ГОСТ Р 52104-2003, ГОСТ Р 52107-2003, ГОСТ 30166-95, ГОСТ 30167-95, ГОСТ 30774-2001, ГОСТ 30775-2001.

Справочно: Федеральный классификационный каталог отходов (утвержден приказом МПР РФ от 30 июля 2003 г. № 663).

Устанавливаются требования по показателям ресурсосбережения разрабатываемого ТП)

**Например:**

"5.5.1. Разрабатываемый технологический процесс должен обеспечивать показатели ресурсосбережения приведенные в таблице <...>.

Таблица &lt;...&gt;

№ п/п	Наименование показателя	Значение
	Показатели ресурсосодержания	
1	Доля (фактическая или допустимая) вторичных материальных ресурсов (из отходов) в единице продукции	<...>
2	Количество энергии, потребляемой при создании единицы продукции	<...>
	Показатели ресурсоемкости (по технологичности)	
3	Удельная производственная материалоемкость вещества, материала	<...>
4	Доля технологических отходов сырья, материалов	<...>
5	Доля технологических потерь сырья, материалов	<...>
6	Коэффициент применяемости сырья	<...>
7	Коэффициент использования сырья	<...>
8	Коэффициент использования основных материалов	<...>
	Показатели энергоемкости	
9	Удельная производственная энергоемкость материала	<...>
10	Удельный расход энергоносителей при изготовлении вещества, материала	<...>
11	Полная энергоемкость продукции	<...>
12	Коэффициент полезного использования энергии	<...>

5.5.2. Значения показателей ресурсосбережения разрабатываемого технологического процесса должны быть окончательно определены на этапе опытной эксплуатации.

5.5.3. Должны быть определены виды и состав отходов, образующихся при выполнении разрабатываемого технологического процесса.

5.5.4. На каждый отход должен быть разработан проект Технического паспорта отхода в соответствии с ГОСТ 17.9.0.2-99."

## **6. Требования по безопасности**

*(Устанавливаются по каждому разрабатываемому ТП)*

### **6.1. Требования по безопасности выполнения технологического процесса**

*(Термины, определения и требования по ГОСТ 3.1120-83, ГОСТ 12.3.002-75(2000), ГОСТ 12.2.003-91, ГОСТ Р 12.3.047-98, ГОСТ ССБТ (серия 12), соответствующим тематике работ, РД 09-251-98.*

*Устанавливаются требования по безопасности выполнения технологического процесса).*

**Например:**

"6.1.1. Разрабатываемый технологический процесс по общим требованиям безопасности должен соответствовать требованиям ГОСТ 12.3.002-75.

6.1.2. Разрабатываемый технологический процесс должен соответствовать следующим требованиям:

- 1) по категории взрывопожарной и пожарной опасности помещений и зданий по НПБ-105-95 - Б;
- 2) по уровню пожарной опасности по ГОСТ Р 12.3.047-98 - повышенной опасности
- 3) по классу опасности вредных веществ по ГОСТ 12.1.007-76 – 3;
- 4) по группе производственных процессов по санитарной характеристике по СНиП 2.09.04-87 – 2б."

**6.2. Требования по обеспечению охраны окружающей среды**

*(Термины, определения и требования по ГОСТ 30772-2001, ГОСТ Р ИСО 14031-2001, ГОСТ ССБТ (серия 12), ГОСТ Охрана природы (серия 17), соответствующим тематике проекта, СП 2.2.2.1327-03.*

*Устанавливаются требования по обеспечению охраны окружающей среды при производстве продукции).*

**Например:**

"6.2.1. Разрабатываемый технологический процесс должен обеспечивать требования по охране окружающей среды в соответствии с ГОСТ Р ИСО 14031-2001, ГОСТ 17.1.3.06-82, СП 2.2.2.1327-03."

***либо***

"6.2.1. Разрабатываемый технологический процесс должен обеспечивать следующие требования по охране окружающей среды:

- 1) общее количество загрязняющих веществ, сбрасываемых за год - <...> т;
- 2) концентрация загрязняющих веществ в сточной воде - <...> <...>;
- 3) количество перерабатываемых, рециклированных или повторно используемых материалов - <...> кг;
- 4) количество упаковочных материалов, ненужных или повторно используемых, приходящихся на единицу продукции - <...> кг/ед.;
- 5) количество вспомогательных материалов, подвергаемых рециклингу или повторному использованию - <...> т;
- 6) <...>"

## **7. Требования к документации**

7.1. Виды, состав и комплектность технической документации установлены "Перечнем технической документации, разрабатываемой в рамках государственного контракта", приведенной в приложении к настоящему техническому заданию.

7.2. Техническая (конструкторская, технологическая, программная, эксплуатационная, ремонтная) документация должна соответствовать требованиям стандартов ЕСКД, ЕСТД, ЕСПД, а также требованиями иной нормативно-технической документации.

7.3. Перечень технической и другой отчетной документации, подлежащей оформлению и сдаче Исполнителем Заказчику на этапах выполнения работ, определяется требованиями настоящего технического задания и нормативными актами [*наименование государственного заказчика*].

7.4. Техническая и другая отчетная документация представляется Заказчику или уполномоченной им организации на бумажном носителе в двух экземплярах и в электронном виде на оптическом носителе в одном экземпляре.

## **8. Требования по видам обеспечения**

### **8.1. Требования по метрологическому обеспечению**

*(Термины, определения и требования по ГОСТ-серия 8, в том числе ГОСТ 8.009-84, ПР 50.2.009-94, ГОСТ 26656-85, ГОСТ Р 51672-2000, МИ 2233-2000, РМГ 62-2003, РМГ 63-2003.*

*Под метрологическим обеспечением понимается комплекс мероприятий по обеспечению достоверности измерений параметров технологического процесса, технологического оборудования и характеристик конечной продукции.*

*Основной задачей метрологического обеспечения является обеспечение достоверных результатов измерения технологических и энергетических параметров для надлежащего контроля качества сырья, материалов и готовой продукции, а также точного учета расхода материалов и энергии.*

*Устанавливаются требования к системе и методам измерений и контроля параметров технологического процесса, в том числе:*

- к оптимальной номенклатуре контролируемых параметров и периодичности их измерений;*
- к регистрации основных технологических и энергетических параметров в нормальных режимах работы, а также необходимых для анализа параметров в аварийных ситуациях;*

- к технологически допустимым пределам погрешностей измерений контролируемых параметров и пределам запаздывания информации;
- к обеспечению единства и требуемой точности измерений, а также единообразию средств измерений с максимально возможным сокращением парка приборов за счет централизации контроля и использования вычислительной техники;
- к возможности поверки встроенных в оборудование датчиков и приборов без их демонтажа;
- по поддержанию заданных режимов работы оборудования посредством использования средств измерений и вычислительной техники;
- к метрологическому обеспечению как информационной базе автоматизированных систем управления технологическими процессами ;
- к метрологической экспертизе технической документации)

**Например:**

"8.1.1. Рабочие места, на которых должны проводиться операции контроля разрабатываемого технологического процесса, должны быть оснащены средствами измерений, указанными в таблице <...>.

Таблица <...>

Наименование технологической операции	Наименование параметра	Наименование средства измерения, тип	Диапазон измерения	Погрешность
КО 1	Масса слябов, кг	Весы	0-25000	±20
КО 2	Масса слитков, кг	Весы	0-30000	±20
КО 3	Усилие при прокатке на валки черновой клетки, тс	ИУМ-7353 Измеритель усилия магнитоанализаторный	0-4500	±2%
КО 4	Усилие при прокатке на валки чистовой клетки, тс	МА-250 Измеритель усилия тензометрический	0-4500	±2%

8.1.2. Все измерительное оборудование и методики измерений, применяемые для контроля параметров технологического процесса и характеристик конечной продукции, должны быть пригодны для использования и поверены в установленном порядке.

8.1.3. На этапах 2 и 3 должна быть проведена метрологическая экспертиза технической документации в соответствии с требованиями РМГ 63-2003. Документы по результатам метрологической экспертизы должны быть оформлены установленным порядком и включены в состав отчетной документации, предъявляемой Заказчику."

## 8.2. Требования по другим видам обеспечения

*(Подразделы вводятся в зависимости от особенностей разработки).*

## 9. Требования к разработке нестандартного технологического оборудования и технологического программного обеспечения

### Например:

"9.1. Для выполнения разрабатываемого технологического процесса должно быть разработано нестандартное технологическое оборудование, перечень и назначение которого приведены в таблице <...>

Таблица <...>

№ п/п	Наименование единицы оборудования	Применяемость в технологических операциях	Технические требования
1	Установка очистки воздуха	ТО 2.1 Подготовка воздуха	ЧТЗ № 1
2	Воздушный ресивер	ТО 2.2 Продувка	ЧТЗ № 2

9.2. Для выполнения разрабатываемого технологического процесса должно быть разработано технологическое программное обеспечение (далее – ПО), состав и назначение которого приведены в таблице [...]

Таблица [...]

№ п/п	Наименование технологического ПО	Назначение	Технические требования
1	Программный комплекс учета энергоносителей	Регистрация и учет расхода энергоносителей	ЧТЗ № 3

9.3. Технические требования к каждой единице разрабатываемого технологического оборудования и к разрабатываемому технологическому ПО приведены в частных технических заданиях (далее — ЧТЗ), являющихся составными частями настоящего технического задания.

9.4. На этапе предварительного проекта должны быть окончательно определены технические требования входящие в имеющиеся ЧТЗ и разработаны ЧТЗ на вновь выявленное нестандартное технологическое оборудование и технологическое ПО.

9.5. Виды, состав и комплектность технической документации на разрабатываемое нестандартное технологическое оборудование и технологическое ПО должны быть включены в "Перечень технической документации, разрабатываемой в рамках государственного контракта" по п. 7.1 настоящего технического задания."

*(либо)*

"9.1. Разрабатываемый технологический процесс не должен требовать разработки нестандартного технологического оборудования и/или нового технологического программного обеспечения."

## **10. Специальные требования**

### **10.1. Требования к испытаниям технологических процессов**

*(Термины и определения по ГОСТ 16504-81.*

*Устанавливаются требования:*

- к виду и количеству испытаний разрабатываемого ТП;
- к наработке опытной (экспериментальной) партии конечной продукции для подтверждения качества разрабатываемого ТП;
- по разработке средств для обеспечения испытаний и моделирования ТП.

*Приводится текст:)*

10.1.1. Для подтверждения соответствия разрабатываемого технологического процесса требованиям настоящего технического задания и нормативно-технической документации должны быть проведены следующие испытания:

- 1) исследовательские испытания с целью изучения определенных характеристик свойств экспериментальных партий продукции в зависимости от вариации режимов и параметров технологического процесса;
- 2) предварительные испытания с целью предварительной оценки соответствия технологического процесса, технологической документации и опытной партии продукции, изготовленной с помощью данного технологического процесса, требованиям настоящего технического задания, а также определения готовности технологической документации и средств технологического оснащения технологического процесса к опытной эксплуатации;
- 3) опытная эксплуатация с целью оценки соответствия технологического процесса, технологической документации и опытной партии

продукции, изготовленной с помощью данного технологического процесса, требованиям настоящего технического задания, а также определения готовности технологической документации и средств технологического оснащения технологического процесса к государственным приемочным (опытно-промышленным) испытаниям;

4) государственные приемочные (опытно-промышленные) испытания для оценки соответствия технологического процесса всем заданным к нему требованиям настоящего технического задания в условиях, максимально приближенных к условиям реального производства, проверки и подтверждения соответствия технологической документации и опытной партии продукции, изготовленной с помощью данного технологического процесса, требованиям настоящего технического задания, а также определения целесообразности использования технологического процесса для промышленного производства и реализации продукции.

10.1.2. Для проведения каждого вида испытаний должна быть разработана Программа и методики испытаний.

10.1.3. Программа и методики государственных приемочных (опытно-промышленных) испытаний должны быть согласованы с *[наименование государственного заказчика]*.

10.1.4. Объем нарабатываемой опытной (экспериментальной) партии продукции должен составлять:  
для проведения:

- 1) исследовательских испытаний — 1000 г, не менее;
- 2) предварительных испытаний — 10 кг, не менее;
- 3) опытной эксплуатации — 50 кг, не менее;
- 4) государственных приемочных испытаний — 10 кг, не менее.

10.1.5. Должны быть разработаны следующие средства для обеспечения испытаний и моделирования:

- 1) исследовательская установка для определения <...> в получаемом веществе;
- 2) испытательный стенд для проверки <...>."

## **11. Технико-экономические показатели**

### **11.1. Основные технико-экономические требования**

#### **Например:**

"11.1.1. Разрабатываемая Технология должна обеспечить:

- 1) снижение текущих затрат на 20% при изготовлении <...>;
- 2) увеличение импортозамещения изделий из пластмасс, применяемых в отечественной промышленности;"

"11.1.2. Разрабатываемая Технология должна быть ориентирована на коммерческое применение в области производства новых синтетических материалов и являться конкурентоспособной на мировом рынке."

11.1.3. Должны быть проведены маркетинговые исследования и разработан бизнес-план производства разработанной продукции *(при наличии требований по объему дополнительного производства новой и усовершенствованной высокотехнологичной продукции за счет коммерциализации созданных передовых технологий – показатель П2 в п. 11.2).*

## **12. Требования к патентной чистоте и патентоспособности**

*(В соответствии с ГОСТ Р 15.011-96, ГОСТ 15.012-84)*

12.1. На этапах 1 и 4 должны быть проведены патентные исследования в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96.

12.2. Патентная чистота на методы изготовления и конструктивные решения должна быть обеспечена в отношении Российской Федерации и стран, куда возможна поставка изделий, а также передача технической, информационной и другой документации.

## **13. Перечень, содержание, сроки выполнения и стоимость этапов**

### **13.1. Наименование этапов и выполняемые работы**

#### **Этап 1. Предварительный проект:**

1. Анализ исходных данных в области применения разрабатываемой технологии, технических условий и технологических процессов, состава и назначения технологического (производственного) оборудования, сравнения с существующими аналогичными технологиями процессами.

2. Разработка, обоснование и выбор вариантов отдельных технологических решений.

3. Проверка разработанных вариантов технологических решений на патентную чистоту.

4. Разработка Перечня и технических требований к технологическому оборудованию, технологическому программному обеспечению.

5. Разработка проектов ТЗ по созданию нестандартного технологического оборудования, технологического программного обеспечения.

6. Проведение расчетов:

— на результативность (подтверждающих количественные и качественные характеристики изготовленного по разрабатываемой технологии вещества (материала, полуфабриката и т.п.);

— на надежность (подтверждающих устойчивость, управляемость разрабатываемой технологии (технологического процесса);

— экономических показателей (стоимости организации технологиче-

ского процесса в различных производственных условиях, экономической эффективности от внедрения в народное хозяйство и др.).

7. Разработка Перечня технической документации (технологической, конструкторской, программной, эксплуатационной) для организации и обеспечения технологического процесса, нестандартного технологического оборудования и технологического программного обеспечения.

8. Разработка (доработка) лабораторного технологического регламента.

#### **Этап 2. Технический проект:**

1. Разработка Технического проекта технологического процесса с учетом создаваемого технологического оборудования, в том числе:

— окончательный выбор отдельных технологических (технических) решений по обеспечению технологического процесса;

— описание технических условий по обеспечению технологического процесса;

— операционное описание технологического процесса;

— разработка проекта технических условий на вещество (материал, полуфабрикат) изготавливаемого по разрабатываемой технологии;

— разработка Программы исследовательских испытаний.

2. Разработка технической документации в соответствии с Перечнем, в том числе:

— разработка опытно-промышленного технологического регламента;

— документации технического проекта;

— технической документации (конструкторской, программной) на вновь создаваемое технологическое оборудование и технологическое программное обеспечение.

3. Лабораторная реализация разрабатываемой технологии, в том числе:

— изготовление макетов, экспериментальных образцов технологического оборудования;

— программная реализация экспериментальных образцов технологического программного обеспечения;

— наработка образцов (партий) вещества (материала, полуфабриката) в условиях лабораторной реализации разрабатываемой технологии.

4. Проведение исследовательских испытаний разрабатываемой технологии в соответствии с Программой, в том числе:

— исследование технических условий, технологических режимов реализованной технологии, норм по обеспечению технологических процессов;

— исследование возможностей используемого технологического оборудования;

— наработка пробных образцов (партий) вещества (материала, полуфабриката);

— аналитические исследования свойств вещества (материала, полуфабриката) получаемого по разрабатываемой технологии.

5. Разработка Программы и методик предварительных испытаний.

### **Этап 3. Разработка рабочей технической документации:**

1. Разработка технической документации (технологической, конструкторской, программной, эксплуатационной на вновь создаваемое технологическое оборудование и технологическое программное обеспечение) в соответствии с согласованным Перечнем.

2. Программная реализация нестандартного технологического программного обеспечения.

3. Подготовка технологического оборудования к опытной эксплуатации, в том числе:

— закупка и монтаж стандартного технологического оборудования;

— изготовление опытных образцов нестандартного технологического оборудования;

— установка и отладка технологического программного обеспечения;

— пусконаладочные работы технологического оборудования (технологической линии) в целом.

4. Проведение предварительных испытаний разрабатываемой технологии в соответствии с Программой, в том числе:

— наработка и аналитические исследования пробных образцов (партий) вещества (материала, полуфабриката);

— аналитические исследования пробных образцов (партий) вещества (материала, полуфабриката).

5. Разработка Программы и методик опытной эксплуатации.

### **Этап 4. Опытная эксплуатация:**

1. Проведение опытной эксплуатации в соответствии Программой.

2. Корректировка технической документации, доработка технологического оборудования, технологического программного обеспечения по результатам опытной эксплуатации,

3. Разработка Программы и методик государственных приемочных (опытно-промышленных) испытаний.

4. Присвоение технической документации литеры «О».

### **Этап 5. Опытно-промышленные (государственные) испытания:**

1. Проведение государственных приемочных (опытно-промышленных) испытаний в соответствии с Программой.

2. Корректировка технической документации по результатам государственных приемочных (опытно-промышленных) испытаний.

3. Присвоение технической документации литеры «О<sub>1</sub>», утверждение ТУ на вещество (материал, полуфабрикат), изготавливаемый по разработанной технологии.

### **13.2. Сроки исполнения и финансирование по этапам** *(Обязательный подраздел. Редактирование не допускается)*

Наименование этапов, содержание выполняемых работ, перечень документов, разрабатываемых на этапах выполнения ОТР, сроки исполнения и контрактная цена приведены в календарном плане (приложение к государственному контракту).

### **14. Порядок приемки этапов ОТР** *(Обязательный раздел. Редактирование не допускается)*

Сдача и приемка выполненных работ (этапов работ) осуществляется в порядке, установленном актами [наименование государственного заказчика], в том числе в соответствии с "Регламентом приемки выполненных работ (этапов работ) по государственным контрактам, заключенным в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы»", и в соответствии с требованиями настоящего технического задания.

## **ЧАСТНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ № [...]**

на разработку [наименование нестандартного технологического оборудования]

к

### **техническому заданию**

на выполнение опытно-технологической работы по теме

« \_\_\_\_\_ »

### **1. Наименование и назначение оборудования**

1.1. Разрабатываемый[-ая, -ое] [полное наименование единицы НТО] (далее – (для дальнейшего использования в тексте ЧТЗ рекомендуется ввести либо сокращенное наименование НТО, либо аббревиатуру, либо, использовать слово Изделие)) предназначен[-а, -о] для применения в составе технологического оборудования технологического процесса [полное наименование технологии или технологического процесса], разрабатываемой[-ого] по техническому заданию по теме "[...]"

1.2. На разрабатываемом[-ой] [сокращенное наименование единицы НТО или аббревиатура] должен[-а, -о] подлежать выполнению следующие производственные функции и технологические операции:

- 1) [наименование производственной функции/технологической операции 1];
  - 2) [наименование производственной функции/технологической операции 2];
- [...][...]...

## **2. Технические требования**

### **2.1. Состав оборудования**

*(Перечисляются основные составные части единицы разрабатываемого нестандартного технологического оборудования (далее – НТО), а также при необходимости указывается назначение составных частей. При определении состава НТО следует руководствоваться ГОСТ 2.101-68 и ГОСТ 2.711-82*

*В соответствии с ГОСТ 18322-78 комплект ЗИП - запасные части, инструменты, принадлежности и материалы, необходимые для технического обслуживания и ремонта изделий и скомплектованные в зависимости от назначения и особенностей использования. К принадлежностям могут относиться контрольные приборы, приспособления, чехлы, буксирные тросы и т.д.).*

*В состав разрабатываемого[ -ой] [сокращенное наименование единицы НТО или аббревиатура] должны входить:*

*1) [наименование составной части 1], (при необходимости указывается конкретное назначение составной части) предназначенный[ -ая, ое] для [...];*

*2) [наименование составной части 2], (при необходимости указывается конкретное назначение составной части) предназначенный[ -ая, ое] для [...];*

*[ ] ...]*

*...*

*[ ] эксплуатационная документация;*

*[ ] комплект монтажных частей;*

*[ ] запасное имущество и принадлежности (ЗИП-[О, Г]) (при необходимости);*

*(Вид комплекта ЗИП — одиночный (О) или групповой (Г) — устанавливаются в подразделе 2.7.3 настоящего ЧТЗ)*

*[ ] тара и упаковка. (Требования к таре и упаковке устанавливаются в подразделе 2.9 настоящего ЧТЗ)*

### **2.2. Требования к показателям назначения**

*(Требования должны быть сформулированы четко, исключая возможность их неоднозначного толкования и субъективной оценки качества продукции.*

*Величины, определяющие требования и технические характеристики продукции, указываются с допускаемыми отклонениями или оговариваются их максимальные или минимальные значения.*

*Статистические параметры задаются с указанием уровня вероятности, которому соответствует данное значение параметра.*

*Если значения показателей, определяющих основные функциональные и технические характеристики (параметры) изделия в соответствии с его целевым назначением, указываются только в этом подразделе ЧТЗ, то в других подразделах на эти показатели могут даваться ссылки без повторения их значений)*

#### **2.2.1. Выполняемые функции**

*(Устанавливаются требования к функциональным характеристикам (параметрам), обеспечивающим выполнение НТО своих функций в заданных условиях применения и эксплуатации, в том числе с учетом аварийных ситуаций)*

#### **2.2.2. Нормы и количественные показатели**

*(Устанавливаются требования к показателям, определяющим эффективность НТО (точность выполнения операций, диапазон, производительность и т.п.))*

#### **2.2.3. Технические характеристики (параметры)**

*(Устанавливаются требования к техническим характеристикам (параметрам) создаваемого НТО (мощность, производительность, удельные расходы сырья, энергоносителей и т. п.), обеспечивающим выполнение возложенных на НТО задач)*

#### **2.2.4. Требования к порядку и способам взаимодействия с сопрягаемыми объектами**

*(Устанавливаются требования к порядку и способам взаимодействия с сопрягаемыми объектами, параметрам воздействий, поступающим на сопрягаемые объекты от создаваемого НТО или поступающим на создаваемое НТО от сопрягаемых объектов, а также основные технические параметры энергоносителей)*

#### **2.2.5. Требования к совместимости.**

*(Устанавливаются требования к функциональной, геометрической, биологической, электромагнитной, электрической, прочностной, технологической, метрологической, диагностической, организационной, информационной и другим видам совместимости)*

### **2.3. Требования к электропитанию**

*(Термины и определения по ГОСТ 23875-88)*

2.3.1. Электропитание разрабатываемого[-ой] [сокращенное наименование единицы НТО или аббревиатура] должно осуществляться от [...] (указывают источники электропитания разрабатываемого НТО при эксплуатации и применении. Приводят величины напряжения, частоты переменного тока, допустимые колебания напряжения и частоты и др.)

2.3.2. Потребляемая мощность в рабочем режиме должна составлять [...] (указать значение) [...] (указать единицу измерения), не более.

[2.3.3 ...]

## **2.4. Требования надежности**

(Термины и определения по ГОСТ 27.002-89, ГОСТ 27.003-90 )

2.4.1. Надежность разрабатываемого[-ой] [сокращенное наименование единицы НТО или аббревиатура] должна соответствовать надежности разрабатываемой[-ого] [сокращенное наименование ТП, либо аббревиатура] и обеспечивать достижения заданных показателей качества намечаемой к выпуску продукции.

2.4.2. Разрабатываемый[-ая, -ое] [сокращенное наименование единицы НТО или аббревиатура] должен[-на, -но] удовлетворять следующим требованиям:

1) ресурс между средними (капитальными) ремонтами [...] (указать значение) [...] (указать единицу измерения), не менее;

2) ресурс до списания [...] (указать значение) [...] (указать единицу измерения), не менее;

3) срок службы между средними (капитальными) ремонтами [...] (указать значение) [...] (указать единицу измерения), не менее;

4) срок службы до списания [...] (указать значение) [...] (указать единицу измерения), не менее.

5) коэффициент технического использования [...] (указать значение), не менее.

2.4.3. Отказом разрабатываемого[-ой] [сокращенное наименование единицы НТО или аббревиатура] считают:

[1] ...]

[2] ...]

[3] ...]

2.4.4. Предельным состоянием разрабатываемого[-ой] [сокращенное наименование единицы НТО или аббревиатура] считают:

[1] ...]

[2] ...]

[3] ...]

...

2.4.5. Подтверждение требований п.п. 2.4.1...2.4.4 настоящего технического задания проводится расчетным методом в соответствии с ГОСТ 27.301-95 - на этапе разработки [*сокращенное наименование единицы НТО или аббревиатура*].

## **2.5. Конструктивные требования**

*(Устанавливают конструктивные требования, предъявляемые к НТО в форме конкретных конструктивных решений, обеспечивающих наиболее эффективное выполнение НТО его функций, в том числе:*

- предельно допустимые массу и габаритные размеры;
- обеспечение внешних связей и взаимодействие с другими единицами НТО, их совместимость, взаимозаменяемость, направления вращения, направления движения и т.п.;
- конструкционные материалы, виды покрытий (металлические и неметаллические) и их функциональное назначение (защита от коррозии и т.п.);
- требования исключения возможности неправильной сборки и неправильного подключения кабелей, шлангов и других ошибок обслуживающего персонала во время технического обслуживания и ремонта;
- требования по установке закладных изделий, настилов, ограждений;
- требования к расположению обслуживающих площадок, ограждений и других металлоконструкций;
- требования по нагрузкам на фундамент;
- требования по условиям крепления оборудования к фундаментам (фундаментные болты, закладные изделия и др.);
- требования к обозначению и привязке фундаментных болтов к оборудованию;
- требования по оснащению опорных частей оборудования конструктивными элементами, уменьшающими воздействие оборудования на фундаменты (виброизоляторы, специальные опоры и др.);
- требования к конструкции комплектных блоков, обеспечивающие:
  - компактное расположение оборудования в блоке при минимальном количестве сборочных единиц, входящих в состав блока;
  - максимальную массу блока, исходя из габаритов железнодорожного, водного, автомобильного транспорта, а также обеспечение жесткости конструкции;
  - наличие на оборудовании выносных баз для выверки и обеспечения проектной точности установки оборудования;
  - доступность мест соединения сборочных единиц для механизации работ и контроля качества соединения;

- разработку блоков совместно с входящими в них комплектующими изделиями (электродвигателями, приборами и средствами автоматизации, трубопроводами и обслуживающими металлоконструкциями);

- наличие в блоке обслуживающих конструкций и возможность использования этих конструкций для безопасного производства работ при установке оборудования в проектное положение.

- требования к монтажной оснастке оборудования (специальным монтажным приспособлениям, подъемным и захватывающим устройствам и другим приспособлениям, необходимым для транспортировки, разгрузки и монтажа негабаритных и тяжеловесных блоков оборудования и т.п.)

(При необходимости уточнения конструктивных требований на последующих этапах ОТР допускается дополнять подраздел фразой:

"Значения [...] (приводится перечень конструктивных требований, требующих уточнения) уточняются в процессе разработки изделия на этапе [...] (указывается этап ОТР) и согласовываются с [...] (приводится наименование организации, с которой требуется согласование)"

## **2.6. Требования по эргономике и технической эстетике**

(Термины, определения, показатели и параметры согласно комплексу стандартов Система "человек - машина", ГОСТ 12.2.049-80, ГОСТ 29.05.002-82, ГОСТ 20.39.108-85, ГОСТ Р 50949-2001, ГОСТ Р 50948-2001, ГОСТ 27833-88, ГОСТ 29149-91.

Устанавливают эргономические требования к организации и средствам деятельности человека-оператора: к распределению функций, алгоритмам работы операторов, способам решения поставленных задач, циклограммам деятельности, режиму труда и отдыха, средствам отображения информации, организации рабочего места и т.д.

Устанавливают требования по технической эстетике, определяющие композиционную целостность, информационную выразительность, рациональность формы и культуру производственного выполнения создаваемого НТО)

## **2.7. Требования к эксплуатации, удобству технического обслуживания и ремонта**

(В подразделе устанавливаются требования к условиям эксплуатации (рабочие и предельные), при которых изделие не должно разрушаться и должно нормально функционировать, а отклонение величин, определяющих технические показатели изделия, не должно превышать заданных; требования к изделию и его параметрам, определяемые спе-

цифрой условий эксплуатации, а также требования к техническому обслуживанию и ремонту изделия)

### **2.7.1. Требования к стойкости к внешним воздействующим факторам**

*(Термины и определения по ГОСТ 26883-86, ГОСТ 21964-76. Параметры и показатели по ГОСТ 15150-69, ГОСТ 17516.1-90, ГОСТ 14254-96, ГОСТ 15543.1-89, ГОСТ 30631-99.*

*В зависимости от вида и назначения НТО устанавливаются:*

- вид климатического исполнения НТО и, при необходимости, требования к НТО в части воздействия климатических условий (диапазон колебаний температуры, влажности и атмосферного давления, защищенность от пыли, воды, брызг воды и т.д.);
- группа механического исполнения НТО и, при необходимости, требования к НТО в части воздействия механических нагрузок (вибрационных, ударных, скручивающих, ветровых).

*В случае необходимости, устанавливаются требования к стойкости НТО к другим внешним воздействующим факторам: биологическим, специальных сред, термическим, электромагнитных полей)*

2.7.1.1. Разрабатываемый[-ая, -ое] [сокращенное наименование единицы НТО или аббревиатура] должен[-на, -но] соответствовать группе климатического исполнения [...] (указать обозначение группы исполнения) по ГОСТ 15150-69 [ГОСТ 15543.1-89].

2.7.1.2. Разрабатываемый[-ая, -ое] [сокращенное наименование единицы НТО или аббревиатура] должен[-на, -но] соответствовать группе механического исполнения [...] (указать обозначение группы исполнения) по ГОСТ 30631-99 [ГОСТ 17516.1-90].

[2.7.1....] [...]

### **2.7.2. Требования к эксплуатационным показателям**

*(Устанавливаются требования:*

- по эксплуатационным и дежурным режимам;
- по времени непрерывной или циклической работы;
- по условиям эксплуатации в аварийных ситуациях;
- к видам обслуживания изделия (постоянно, периодически или без обслуживания) и к условиям, объему и периодичности технического обслуживания и обязательных проверок;
- к оснащению НТО электроприводами, бесконтактными приборами, датчиками, регуляторами, программируемыми контроллерами, обеспечивающими автоматическое управление механизмами и технологи-

ческими операциями в заданной последовательности, а также требования по установке встроенных средств технического диагностирования для оценки технического состояния элементов оборудования и прогнозирования сроков его отказа;

- к возможности перехода к ручному управлению при ремонтных и пуско-наладочных работах)

[2.7.2.....] Гарантийный срок разрабатываемого[-ой] [сокращенное наименование единицы НТО или аббревиатура] должен составлять [...] (указать значение) [...] (указать единицу измерения), не менее.

### **2.7.3. Требования по ремонтпригодности**

(Термины, определения и показатели по ГОСТ 2.602-95, ГОСТ 21623-76, ГОСТ 23660-79, ГОСТ 2.604-2000, ГОСТ 28.001-83.

Устанавливают требования:

- по удобству ремонта в условиях эксплуатации, сборки и разборки при техническом обслуживании, доступности к отдельным составным частям при выполнении этих операций без демонтажа других составных частей;

- к составу инструментов и приспособлений для проведения технического обслуживания и ремонта)

[2.7.3.....] Требования к ЗИП

(Устанавливают исходные данные для расчёта ЗИП: состав, стратегия пополнения, доставки ЗИП и т.п. Требования к ЗИП уточняются на этапе технического проекта. Справочно - ОСТ 45.66-96)

### **2.8. Требования безопасности**

(Термины, определения, параметры и показатели по ГОСТ ССБТ (серия 12), ГОСТ Охрана природы (серия 17), соответствующие тематике ОКР/ОТР, ГОСТ ИСО/ТО 12100-1-2001, ГОСТ ИСО/ТО 12100-2-2002, ГОСТ 12.3.002-75(2000), ГОСТ 12.2.003-91, ГОСТ Р 12.3.047-98, ГОСТ 3.1120-83, ГОСТ 30772-2001, ГОСТ Р ИСО 14031-2001, РД 09-251-98, СП 2.2.2.1327-03.

Устанавливаются требования:

- по безопасности при монтаже, эксплуатации, обслуживании и ремонте (от воздействия электрического тока, теплового воздействия, высокочастотных полей, ядовитых и взрывчатых паров, пыли и газов, акустических шумов и т.п.

- по обеспечению охраны окружающей среды при производстве, эксплуатации, транспортировании, хранении, утилизации продукции)

### **2.8.1. Требования к эксплуатационной безопасности**

*(Устанавливаются требования:*

- к применению встроенных в НТО средств защиты работающих (ограждений, экранов и др.), а также средств информации, предупреждающих о возникновении опасных (в том числе пожаро- и взрывоопасных) ситуаций и аварийное отключение оборудования;
- к применению средств механизации, автоматизации, дистанционного управления и контроля при наличии опасных и вредных производственных факторов;
- к герметизации НТО от выделения вредных веществ и своевременного удаления их из рабочей зоны;
- к защите персонала от действия опасных и вредных производственных факторов, сопутствующих принятой технологии или возникающих при нарушении технологического процесса;
- к сигнальной окраске оборудования и знакам безопасности;
- к снижению уровня вредных факторов до величины, установленной санитарными нормами;
- к защите оборудования от перегрузок и ошибочных действий обслуживающего персонала;
- к защите оборудования и коммуникаций от распространения пламени и от разрушения при взрыве (установка клапанов, мембран и других огнепреграждающих устройств);
- к электростатической искробезопасности;
- к обеспечению возможности прохода и доступа к механизмам для обслуживания за счет устройства площадок, лестниц и переходных мостиков)

### **2.8.2. Требования к экологической безопасности**

*(Устанавливаются требования к охране атмосферного воздуха, воды и почвы от выбросов загрязняющих веществ, в том числе:*

- к снижению уровня шума и вибрации;
- к наличию встроенных местных отсосов и устройств для отвода газо-пылевыделений, протечек жидкостей и встроенных устройств газопылеочистки;
- к предотвращению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и водоемы в аварийных ситуациях и к ликвидации их последствий;
- по регулированию выбросов (режимов работы оборудования) в периоды неблагоприятных метеорологических условий)

## **2.9. Требования к упаковке и маркировке**

### **2.9.1. Требования к упаковке**

*(Термины, определения, требования по ГОСТ 23170-78, ГОСТ 2.114-95, ГОСТ 23216-78, ГОСТ 24686-81.*

*Приводят требования к таре и упаковке, способу и возможным вариантам упаковки в зависимости от сроков и условий хранения и транспортирования)*

### **2.9.2. Требования к маркировке**

*(Термины, определения, требования по ГОСТ 26828-86, ГОСТ 14192-96, ГОСТ Р 51474-99.*

*Приводят требования к маркировке (с учетом требований пригодности к монтажу), наносимой на изделия и тару (место нанесения, способ нанесения, требования к качеству маркировки, содержанию предупредительных и указательных подписей, в том числе:*

- обозначение сборочных единиц (для негабаритных в сборе блоков);*
- места строповки;*
- центр тяжести;*
- базовые поверхности для выверки;*
- стрелку, указывающую направление вращения (движения);*
- массу блока или сборной единицы)*

*[2.9.2....] Маркировка должна выполняться на нерабочих поверхностях оборудования способами, обеспечивающими четкость надписи и ее сохранность на весь период хранения и монтажа.*

*[2.9.2....] Монтажные и сборочные риски должны быть обведены яркой несмываемой краской.*

### **2.9.3. Требования к консервации, хранению и транспортированию**

*(Термины, определения, требования по ГОСТ 15150-69, ГОСТ 23216-78, ГОСТ 51908-2002.*

*Устанавливаются требования по условиям и срокам хранения в различных условиях.*

*Устанавливаются виды транспортных средств, на которых возможна перевозка НТО, требования по условиям транспортирования и допустимым механическим и климатическим воздействиям при транспортировании)*

## **3. Требования к метрологическому обеспечению**

*(В соответствии с ГОСТ-серия 8, в том числе ГОСТ 8.009-84, ПР 50.2.009-94, ГОСТ 26656-85, РМГ 63-2003.*

*Основной задачей метрологического обеспечения является обеспече-*

*ние достоверных результатов измерения технологических и энергетических параметров для надлежащего контроля качества сырья, материалов и готовой продукции, а также точного учета расхода материалов и энергии.*

*Устанавливаются требования:*

- *к оптимальной номенклатуре контролируемых параметров и периодичности их измерений;*
- *к регистрации основных технологических и энергетических параметров в нормальных режимах работы, а также необходимых для анализа параметров в аварийных ситуациях;*
- *к технологически допустимым пределам погрешностей измерений контролируемых параметров и пределам запаздывания информации;*
- *к обеспечению единства и требуемой точности измерений, а также единообразию средств измерений с максимально возможным сокращением парка приборов за счет централизации контроля и использования вычислительной техники;*
- *к возможности поверки встроенных в оборудование датчиков и приборов без их демонтажа;*
- *по поддержанию заданных режимов работы оборудования посредством использования средств измерений и вычислительной техники;*
- *к метрологической экспертизе технической документации и средств измерений).*

3.[...] На этапе[-ах] [...] (указать наименование или порядковые номера этапа(-ов) работ) должна быть проведена метрологическая экспертиза технической документации в соответствии с требованиями РМГ 63-2003. Документы по результатам метрологической экспертизы должны быть оформлены установленным порядком и включены в состав отчетной документации, предъявляемой Заказчику.

#### **4. Требования к испытаниям**

*(Термины, определения, требования по ГОСТ 16504-81, ГОСТ 15.005-86, ГОСТ 15.309-98)*

*Устанавливаются требования:*

- *о необходимости разработки макетов НТО и его составных частей;*
- *к виду и количеству испытаний разрабатываемого НТО;*
- *к количеству опытных (головных) образцов изделия, предназначенных для проведения испытаний;*
- *по разработке средств для обеспечения испытаний образца НТО)*

4.1.[\_] Для подтверждения и проверки выбранных конструктивно-схемных, конструктивно-технологических и технических решений, а

также требований надежности и других, предъявляемых к разрабатываемому[-ой] [сокращенное наименование единицы НТО или аббревиатура], его составным частям (сборочным единицам) должны быть изготовлены и испытаны следующие макеты:

1) на этапе [наименование или номер этапа работ]:

а) макет [наименование составной части 1];

б) макет [наименование составной части 2];

[...]

[...] на этапе [наименование или номер этапа работ]:

а) макет [наименование составной части 1];

б) макет [наименование составной части 2];

[...]

4.1.[\_] На этапе [наименование или номер этапа работ] должна быть произведена контрольная сборка и обкатка [опытного/головного] образца [сокращенное наименование единицы НТО или аббревиатура].

4.1.[\_] Для подтверждения соответствия разрабатываемого [сокращенное наименование единицы НТО или аббревиатура] требованиям настоящего технического задания и нормативно-технической документации должны быть проведены приемо-сдаточные испытания (приемочный контроль) [опытного/головного] образца в соответствии с действующими стандартами или типовыми программами и методиками испытаний, относящимся к данному виду (группе) продукции. При их отсутствии или недостаточной полноте испытания проводят по программе и методике, подготовленной Исполнителем и согласованной с Заказчиком.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Альперт, Л.З.* Основы проектирования химических установок / *Л.З. Альперт.* – М.: Высш. шк., 1976. – 272 с.
2. *Альперт, Л.З.* Основы проектирования химических установок биотехнологии / *Л.З. Альперт.* – М.: Химия, 1989. – 208 с.
3. Архитектура промышленных предприятий, зданий и сооружений: справочник проектировщика / *под ред. Н. Кима.* – М.: Стройиздат, 1990. – 638 с.
4. *Бакластов, А.М.* Проектирование, монтаж и эксплуатация тепло-и массообменных установок / *А.М. Бакластов.* – М.: Высш. шк., 1981. – 426 с.
5. *Бергхаузер, Т.* Система автоматизированного проектирования AutoCad: справочник / *Т. Бергхаузер, П. Шлив.* – М.: Радио и связь, 1989. – 256 с.
6. *Беркман, Б.Е.* Основы технологического проектирования / *Б.Е. Беркман.* – М.: Химия, 1970. – 320 с.
7. *Бочкарев, В.В.* Оптимизация процессов химической технологии органических веществ: учебное пособие / *В.В. Бочкарев, А.А. Ляпков.* – Томск: ИПФ ТПУ, 1995. – 96 с.
8. *Бугрименко, Г.А.* Автоматизация конструирования на ПЭВМ с использованием системы AutoCad / *Г.А. Бугрименко, В.Н. Лямке, Э.-Л.С. Шейнбокене.* – М.: Машиностроение, 1993. – 336 с.
9. *Ветохин, В.Н.* Программирование и вычислительные методы в химии и химической технологии / *В.Н. Ветохин, А.И. Бояринов, В.В. Кафаров.* – М.: Наука, 1972. – 387 с.
10. *Гладков, С.А.* Курс практической работы с системой AutoCad 10 / *С.А. Гладков, Ю.А. Крепко.* – М.: Диалог-МИФИ, 1992. – 288 с.
11. *Грувер, М.* САПР и автоматизация производства / *М. Грувер, Э. Зиммерс.* – М.: Мир, 1978. – 520 с.
12. *Иванов, Г.И.* Основы проектирования и оборудование предприятий органического синтеза: учебное пособие / *Г.И. Иванов.* – Томск: Изд-во ТПУ, 1991. – 112 с.
13. *Кафаров, В.В.* Методы кибернетики в химии и химической технологии / *В.В. Кафаров.* – М.: Химия, 1971. – 378 с.
14. *Коваленко, Ю.Н.* Экономика проектирования промышленных предприятий / *Ю.Н. Коваленко.* – Киев: Будивельник, 1970. – 346 с.
15. *Кречко, Ю.А.* AutoCad: программирование и адаптация / *Ю.А. Кречко.* – М.: Диалог-МИФИ, 1995. – 240 с.
16. *Николаев, И.С.* Промышленные предприятия в городах / *И.С. Николаев.* – М.: Стройиздат, 1965. – 320 с.

17. Основы проектирования химических производств: учебник для вузов / под ред. А. И. Михайличенко. – М.: ИКЦ "Академкнига", 2010. – 371 с.
18. Основы проектирования химических производств и оборудования: учебник / под ред. А. И. Михайличенко. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 397 с.
19. Основы систем автоматизированного проектирования: учебное пособие / под ред. Ю.В. Кожевникова. – Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1981. – 128 с.
20. Полищук, В.В. AutoCad 2000: практическое руководство / В.В. Полищук, А.В. Полищук. – М.: Изд-во «Компьютер», 2000. – 448 с.
21. Родионов, А.И. Оборудование, сооружения, основы проектирования химико-технологических процессов защиты биосферы от промышленных выбросов / А.И. Родионов, Е.П. Кузнецов, В.В. Зенков, Г.С. Соловьев. – М.: Химия, 1985. – 352 с.
22. Рыгалов, В.А. Генеральные планы предприятий химии / В.А. Рыгалов. – М.: Стройиздат, 1967. – 326 с.
23. Сербинович, П.П. Архитектурное проектирование промышленных зданий / П.П. Сербинович, Б.Я. Орловский, В.К. Абрамов. – М.: Высш. шк., 1972. – 408 с.
24. Тетеревков, А.И. Оборудование заводов неорганических веществ и основы проектирования / А.И. Тетеревков, В.В. Печковский. – Минск.: Выща шк., 1981. – 335 с.
25. Тетеревков, А.И. Оборудование заводов неорганических веществ / А.И. Тетеревков, В.В. Печковский, Л.В. Новосельская. – Минск.: Выща шк., 1984. – 196 с.
26. Федоренко, А.П. Выполнение чертежей в системе АвтоКад. Кн. 1 / А.П. Федоренко. – М.: ЛТД, 1991. – 224 с.
27. Фисенко, А.С. Архитектурное проектирование промышленных предприятий / А.С. Фисенко, С.В. Демидова. – М.: Стройиздат, 1973. – 320 с.
28. Хокс, Б. Автоматизированное проектирование и производство / Б. Хокс. – М.: Мир, 1992. – 293 с.
29. Хуснутдинов, В.А. Оборудование производств неорганических веществ / В.А. Хуснутдинов, Р.С. Сайфуллин, И.Г. Хабибуллин. – Л.: Химия, 1987. – 248 с.
30. Шнур, Т. Автоматизированное проектирование и производство / Т. Шнур, Ф.Л. Краузе. – М.: Машиностроение, 1988. – 293 с.

Учебное издание

**ПРОКОФЬЕВ** Валерий Юрьевич

**ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ПРОИЗВОДСТВ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ**

*Учебное пособие*

Редактор В.Л. Родичева

Подписано в печать 12.05.2015. Формат 60×84 1/16. Бумага писчая.  
Усл.печ.л. 7,67. Тираж 100 экз. Заказ \_\_\_\_\_

ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный  
химико-технологический университет»

Отпечатано на полиграфическом оборудовании  
кафедры экономики и финансов ФГБОУ ВПО «ИГХТУ»  
153000, г. Иваново, Шереметевский пр., 7