

Федеральное агентство по образованию  
Российской Федерации  
ГОУ ВПО "Российский химико-технологический университет  
им. Д.И. Менделеева"

Новомосковский институт (филиал)

## МАШИНЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Программа, методические указания, контрольные  
работы для студентов-заочников специальности  
240801 «Машины и аппараты химических производств»

### Часть II

Новомосковск  
2007

**УДК 66.02**  
**ББК 35.11**  
**М 382**

Рецензент:

кандидат технических наук, доцент *Мещеряков Г.В.*  
(НИ (филиал) ГОУ ВПО РХТУ им. Д.И.Менделеева)

Составители: Лукьяница А.И., Клочков В.И.

**М 382    Машины и аппараты химических производств. Программа, методические указания и контрольные задания для студентов-заочников специальности 240801 "Машины и аппараты химических производств". Часть II:** / ГОУ ВПО РХТУ им. Д.И. Менделеева, Новомосковский институт (филиал); Сост.: А.И. Лукьяница, В.И. Клочков. Новомосковск, 2007. – 26 с.

В предлагаемом пособии даны: программа специального курса "Машины и аппараты химических производств", методические указания для самостоятельного изучения курса, вопросы для самопроверки, вопросы и задания для выполнения контрольных работ, списки рекомендуемой литературы. Пособие предназначено для студентов заочного отделения Новомосковского института РХТУ имени Д.И. Менделеева.

УДК 66.02  
ББК 35.11

©Новомосковский институт (филиал)  
ГОУ ВПО Российского химико-технологического  
университета им. Д.И. Менделеева, 2007

## Введение

На кафедре "Машины и аппараты химических производств" предусматривается специализация студентов-заочников по оборудованию одного из двух крупнотоннажных химических производств:

производству связанного азота;

производствам основного органического синтеза и синтетического каучука.

В соответствии с учебным планом каждый студент должен по программам, приведенным в данном методическом пособии, изучить теоретические основы технологических процессов, типы и конструкции основного технологического оборудования, способы его противокоррозионной защиты, сдать экзамен, выполнить две контрольные работы.

К выбору специализации нужно подойти ответственно, исходя в первую очередь из соответствия личного производственного опыта одной из промышленных специализаций, а также возможности выполнения курсового и дипломного проектов по профилю предприятия, на котором работает студент. Желательно выбор специализации согласовать с выпускающей кафедрой.

Изучение курса проводится студентами по рекомендуемой литературе, список которой приводится после каждого раздела программы. По мере изучения материала следует составлять конспект с кратким описанием технологических схем, конструкций оборудования, составления его эскизов. Таким образом, будет составлен конспект курса, который поможет в период подготовки к сдаче экзамена повторить весь материал.

Ниже приводятся программы по всем двум специализациям и в соответствии с ними задания для выполнения контрольных работ.

### ПРОГРАММЫ КУРСОВ

#### 1. ОБОРУДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВ СВЯЗАННОГО АЗОТА

Введение.

Задачи курса. Роль химической промышленности в народном хозяйстве. Развитие химической промышленности и химического машиностроения в России. Производства основной химии, их значение и характерные особенности, природное сырье, обширность, области использования вырабатываемых продуктов, многотоннажность. Географическое размещение сырьевых ресурсов. Значение экономических факторов. Роль научно-исследовательских работ. Общие направления развития производств основной химии.

Значение отдельных видов химических производств для развития промышленности и сельского хозяйства России.

Азот в природе. Исторический обзор методов химического связывания азота. Азотная промышленность в стране. Схема взаимосвязи производств азотнотукового завода. Виды сырья для синтеза аммиака и метанола.

Краткое описание (по стадиям) различных методов производства азотно-водородной смеси и метанольной смеси, их удельный вес и сравнительная технико-экономическая оценка.

### Оборудование для производства синтез-газов

#### 1. Оборудование конверсии метансодержащих газов.

##### а). Метансодержащие газы.

б). Конверсия метана. Физико-химические основы процесса. Классификация методов конверсии метана. Основные реакции и влияние отдельных факторов на скорость и полноту их протекания.

в). Конверсия оксида углерода. Физико-химические основы процесса и влияние отдельных факторов.

г). Установки конверсии: каталитическая конверсия метана и оксида углерода. Одно- и двухступенчатая конверсия метана. Конверсия при атмосферном и повышенном давлении. Энерго-технологическая схема двухступенчатой каталитической конверсии под давлением. Основные показатели режима установок конверсии.

Сравнительная характеристика схем конверсии, условия и перспективы применения для производства азотоводородной и метанольной газовых смесей.

д). Оборудование установок конверсии метана и оксида углерода. Конструкции конверторов метана: шахтные конверторы и трубчатая печь каталитической конверсии. Высокотемпературный конвертор метана под повышенным давлением. Материалы для изготовления конверторов метана.

Двухступенчатые конверторы оксида углерода с радиальным ходом газа. Применение метода псевдоожиженного слоя для каталитической конверсии метана и оксида углерода. Вспомогательное оборудование систем конверсии: теплообменники, сатурационные башни, котлы-утилизаторы, смесители.

е). Совмещение производства ацетилена и синтез-газа. Термоокислительный пиролиз метана и выделение ацетилена. Конструкция реактора и его основных узлов.

При работе над данным разделом обратить особое внимание на классификацию методов конверсии.

### Литература

1. Справочник азотчика. Т.1. М., Химия, 1986, с.48-162.
2. Кочетов Н.М., Приставко В.Ф., Семагин А.Н. Расчет каталитических аппаратов в производстве технологического газа для синтеза аммиака (методические указания). Новомосковск, 1979.

Вопросы для самопроверки:

1. Из каких материалов изготавливаются конверторы метана?
2. Какими преимуществам и недостатками обладают конверторы оксида углерода с радиальным ходом газа?
3. Почему шахтный конвертор метана, работающий под давлением 3 МПа, имеет снаружи водяную рубашку?

## 2. Оборудование производства синтез-газа методом газификации твердых топлив

а). Газогенераторный процесс и физико-химические основы производства водяного и паро-воздушного газа. Требования к сырью. Состав получаемых газовых смесей. Схемы газогенераторных установок. Режим газификации. Непрерывные способы газификации. Газификация низкосортных топлив в псевдоожиженном слое. Газификация давлением.

б). Оборудование газогенераторных станций. Конструкции газогенераторов. Вспомогательное оборудование.

При работе над данным разделом обратить особое внимание на устройство газогенераторов.

Литература

1. Справочник азотчика. Т.1. М., Химия, 1986, с.162-194.

Вопросы для самопроверки:

1. Из каких материалов изготавливаются газогенераторы?
2. Какими преимуществами и недостатками обладают газогенераторы с кипящим слоем газифицируемого топлива?
3. Почему в газогенераторах применяется вращающаяся колосниковая решетка?

## Оборудование очистки газовых смесей

Классификация методов очистки газов. Физические, химические, адсорбционные и каталитические методы очистки газовых смесей от контактных ядов.

а). Способы очистки от сероводорода. Сухая очистка. Мокрая очистка. Основы процессов.

б). Очистка от углекислоты водой под давлением. Схема установки. Рекуперация энергии воды.

в). Очистка от углекислоты растворами этаноламинов. Физико-химические основы процесса. Производственные схемы.

г). Очистка от углекислоты активированными растворами поташа. Схема, режим.

д). Абсорбция углекислоты органическими растворителями. Абсорбция метанолом, метод Пуризол и др. Физико-химические основы процессов и схемы установок.

е). Очистка от оксида углерода водными растворами комплексных медно-аммиачных солей. Схемы установок. Регенерация растворов.

ж). Оборудование для очистки газов. Скрубберы водной очистки. Распределение и сепарация жидкости. Применение аппаратов очистки с тарельчатыми устройствами.

Насосы среднего давления для систем водной и поташной очистки. Рекуперационные жидкостные турбины. Типы турбин, конструктивные особенности. Выбор основных размеров турбин. Медно-аммиачные скрубберы насадочного и тарельчатого типа. Насосы для медно-аммиачных растворов. Рекуперационная машина высокого давления.

Коррозия в установках очистки газа и применяемые материалы. Компановка оборудования систем очистки. Монтаж скрубберов. Меры безопасности.

з). Тонкая очистка синтез-газа от каталитических ядов. Метанирование. Каталитическая очистка от соединений серы гидрированием. Сущность процессов, режим работы и конструкции реакторов.

При работе над данным разделом особое внимание обратить на классификация методов очистки газов.

#### Литература

1. Справочник азотчика. Т.1. М., Химия, 1986, с.221-341.
2. Семенова Т.А., Лейтес И.Л. и др. Очистка технологических газов, М., Химия, 1977.

#### Вопросы для самопроверки:

1. Из каких материалов изготавливаются скрубберы МЭА-очистки?
2. Для чего применяются рекуперационные машины высокого давления?
3. Какими преимуществами и недостатками обладают скрубберы тарельчатого типа?

#### Оборудование для получения азота и азотоводородной смеси методом глубокого охлаждения

а). Низкие температуры в современной технике. Охлаждение реального газа. Холодильные циклы и их сравнительные оценки.

б). Разделение воздуха. Схемы установок. Получение чистого азота.

в). Разделение коксового газа. Физические основы метода фракционированной конденсации. Схемы установок разделения коксового газа.

г). Очистка азотоводородной смеси от оксида углерода промывкой жидким азотом. Схема промышленной установки. Показатели режима.

д). Оборудование установок глубокого охлаждения. Конструкция регенераторов, ректификационных и промывных колонн. Вспомогательная аппаратура процесса разделения коксового газа: теплообменники, испарители азота. Материалы, применяемые для изготовления аппаратуры.

При работе над данным разделом обратить особое внимание на сравнительную оценку холодильных циклов.

#### Литература

1. Справочник азотчика. Т.1. М., Химия, 1986, с. 194-205.
2. Атрошенко В.И. и др. Методы расчетов по технологии связанного азота, Харьковский университет, 1960, с.65-83.

#### Вопросы для самопроверки:

1. Из каких материалов изготавливается оборудование, работающее при низких температурах?
2. Почему некоторые теплообменники в низкотемпературных установках периодически переключаются?
3. Где больше холодильный эффект: при расширении газа в детандере или при дросселировании?

#### Компрессорное оборудование высокого давления

а). Сжатие газовых смесей до высоких давлений. Особенности газодинамического расчета поршневых и центробежных компрессоров высокого давления.

б). Современные тенденции развития компрессорных машин высокого давления в азотной промышленности. Компрессоры с оппозитным расположением цилиндров. Поршневые компрессоры без смазки цилиндров. Особенности конструкций отдельных частей и узлов механизма движения, уплотнений, клапанов, систем смазки и охлаждения и пр.

Центробежные компрессоры высокого давления для азотоводородной смеси. Компановка. Конструктивная характеристика и показатели работы. Особенности конструкций: уплотнение вала, проточной части, подшипников, корпуса и пр. Особенности монтажа отдельных узлов компрессора (установка рамы, укладка вала, центровка цилиндров, сборка поршней, сальников, клапанов и пр.).

При работе над данным разделом обратить особое внимание на современные тенденции развития компрессорных машин высокого давления.

#### Литература

1. Справочник азотчика. Т.2. М., Химия, 1986, с. 288-385.
2. Френкель М.И. Поршневые компрессоры, М., Машиностроение, 1969.

Вопросы для самопроверки:

1. Из каких материалов изготавливаются основные детали компрессоров?
2. Какими преимуществами и недостатками обладают оппозитные компрессоры?
3. Какими преимуществами и недостатками обладают турбокомпрессоры?

#### Оборудование цехов синтеза аммиака

а). Физико-химические основы синтеза аммиака. Равновесие и скорость реакции. Катализаторы и катализаторные яды. Влияние давления, температуры, объемной скорости и состава азотоводородной смеси на скорость и полноту реакции. Выделение аммиака из газовой смеси.

б). Цикл синтеза. Производственные схемы синтеза аммиака. Схемы с однократной и двухкратной конденсацией: варианты расположения ввода свежей смеси и циркуляционного нагнетателя. Условия применения схемы с инжектором. Сравнительная характеристика и область применения различных схем цикла и их экономическая эффективность.

в). Материальный расчет системы синтеза аммиака. Производительность колонны, количество свежего и продувочного газа. Распределение материальных потоков в узловых точках цикла синтеза.

г). Колонны синтеза аммиака. Основные части внутренней насадки колонны. Автотермичность колонны и общий баланс тепла. Общие требования, предъявляемые к насадкам колонны. Классификация насадок. Основы регулирования температурного режима в насадках. Байпасы, типы трубчатых насадок. Полочные насадки. Температурный режим в насадке. Сравнительная характеристика различных типов насадок.

Насадки с использованием тепла реакции. Способы отвода тепла реакции и их эффективность. Сравнительная характеристика различных схем агрегатов с отбором тепла реакции. Насадки малого гидравлического сопротивления с мелкозернистым катализатором: насадки двухпоточные, радиального типа, с псевдооживленным слоем катализатора. Принципиальное устройство, сравнительная оценка.

д). Тепловые расчеты насадок. Методы теплового расчета трубчатых и полочных насадок; тепловые балансы насадок с отбором тепла. Методы расчета температурно-концентрационного режима, катализаторной зоны трубчатых и полочных насадок с использованием кинетических зависимостей.

е). Конструктивные элементы насадок колонн синтеза. Конструктивные формы катализаторных коробок, теплообменников, электроподогревателей, внутренних котлов-утилизаторов. Соединительные узлы. Внутренние уплотнения. Примеры выполнения конструкций. Материалы деталей насадок и условия работы деталей.



ж). Устройства для регулирования температурного режима. Байпасы. Перепускные клапаны котлов-утилизаторов.

з). Сборка и разборка насадок. Перегрузка катализатора. Монтажные операции. Приспособления для ремонтно-монтажных работ.

и). Типы и конструкции холодильников-конденсаторов. Сепараторы аммиака. Комбинированная конденсационно-сепарационная аппаратура. Выносные теплообменники и котлы-утилизаторы. Фильтры и маслоотделители.

к). Хранение жидкого аммиака. Оборудование складов. Улавливание аммиака из продувочных и танковых газов.

л). Пути совершенствования схем и аппаратуры синтеза аммиака. Применение инжекторов при среднем давлении. Перспективы применения адсорбционных методов очистки газа и выделения аммиака. Применение псевдоожиженного слоя в процессах синтеза, предкатализа и адсорбционной очистки газов. Агрегаты синтеза повышенной мощности. Конструктивные решения насадок колонн синтеза и их отдельных узлов в аппаратах большого диаметра.

При работе над данным разделом обратить особое внимание на устройство колонн синтеза аммиака.

#### Литература

1. Справочник азотчика. Т.1. М., Химия, 1986, с.342-401.
2. Румянцев О.В Оборудование цехов синтеза высокого давления в азотной промышленности, М., Химия, 1970, с.21-55, 79-213.
3. Кузнецов Л.Д., Дмитриенко Л.М. и др. Синтез аммиака, М., Химия, 1982, с. 3-292.

#### Вопросы для самопроверки:

1. Из каких материалов изготавливаются колонны синтеза аммиака?
2. Для чего в агрегате синтеза аммиака применяется конденсационная колонна?
3. В чем состоит преимущество полочных насадок колонн синтеза аммиака по сравнению с трубчатыми?

#### Оборудование цехов синтеза метанола

а). Метанол, его свойства и применение. Физико-химические основы синтеза. Катализаторы. Оптимальные условия синтеза и показатели режима. Схемы синтеза метанола. Особенности технологического расчета.

б). Аппаратура синтеза метанола. Колонны синтеза и их конструктивные особенности. Насадки колонн. Условия работы и применяемые материалы. Возможности использования тепла реакций синтеза метанола. Холодильники-конденсаторы. Сепараторы. Ректификация метанола и очистка

от примесей. Схема производства метанола при пониженном давлении. Особенности технологического режима и аппаратного оформления.

При работе над данным разделом обратить особое внимание на устройство колонн синтеза метанола.

#### Литература

1. Румянцев О.В. Оборудование цехов синтеза высокого давления в азотной промышленности, М., Химия, 1970, с.56-69, 214-228.

#### Вопросы для проверки:

1. Из каких материалов изготавливаются колонны синтеза метанола?
2. Для чего применяется многополочная насадка в колонне синтеза метанола?
3. В чем преимущество схем производства метанола при пониженном давлении?

#### Оборудование цеха синтеза карбамида

- а). Карбамид, его свойства и применение. Масштабы производства.
- б). Физико-химические основы синтеза карбамида. Схемы установок синтеза карбамида без рецикла, с частичным и полным рециклом.
- в). Режим работы, расходные коэффициенты и другие основные показатели. Коррозия в производстве карбамида. Применяемые конструкционные материалы. Конструкции колонн синтеза карбамида. Насосы высокого давления для аммиака и раствора углеаммонийных солей.

При работе над данным разделом обратить особое внимание на устройство колонн синтеза карбамида.

#### Литература

1. Справочник азотчика. Т.2. М., Химия, 1986, с. 247-288.
2. Румянцев О.В. Оборудование цехов синтеза высокого давления в азотной промышленности, М., Химия, 1970, с. 70-78, 229-236.

#### Вопросы для самопроверки:

1. Для каких целей получают карбамид?
2. Из каких материалов изготавливается колонна синтеза карбамида?
3. Для чего колонны синтеза карбамида изнутри футеруют?

#### Промышленная техника высокого давления

- а). Материалы, применяемые для аппаратуры и коммуникаций высокого давления, и предъявляемые к ним требования. Водородная и карбонильная коррозия, азотирование. Меры предупреждения.

б). Развитие технологии изготовления аппаратуры высокого давления. Типы сосудов высокого давления: цельнокованные, ковано-сварные, штампованные. Составные сосуды: многослойные, витые, рулонные. Конструкции концевых частей сосудов высокого давления. Фланцевая часть корпуса, днище.

в). Типы затворов сосудов высокого давления. Классификация затворов. Описание важнейших промышленных конструкций. Сравнительная оценка различных конструкций.

г). Коммуникации и арматура высокого давления. Изготовление участков коммуникаций. Способы соединения: уплотнение трубопроводов. Запорная, регулирующая и предохранительная арматура. Фасонные части коммуникаций.

При работе над данным разделом обратить особое внимание на применяемые материалы для изготовления аппаратуры и на типы затворов.

### Литература

1. Румянцев О.В. Оборудование цехов синтеза высокого давления в азотной промышленности, М., Химия, 1970, с. 237-337.

### Вопросы для самопроверки:

1. Какие материалы применяются для изготовления аппаратуры и коммуникация высокого давления?
2. Какие меры принимаются для предупреждения водородной и карбонильной коррозии?
3. Как изготавливаются составные сосуды?

### Оборудование цехов производства азотной кислоты и нитратов

Промышленное применение азотной кислоты. Физико-химические основы процесса каталитического окисления аммиака. Применяемые катализаторы и оптимальные условия окисления. Окисление окиси азота. Абсорбция окислов азота водными растворами азотной кислоты. Абсорбция окислов азота щелочами.

Материалы, применяемые для изготовления аппаратуры в производстве азотной кислоты.

### Оборудование цехов слабой азотной кислоты, работающих под повышенным давлением

а). Схемы установок повышенного давления и комбинированные схемы. Техничко-экономические показатели.

б). Турбокомпрессоры для воздуха и нитрозных газов. Рекуперационные газовые турбины. Монтаж турбомашин, установка и проверка корпуса. Сборка, установка и балансировка ротора.

в). Конверторы повышенного давления, основные конструкции. Компановка контактного узла. Особенности устройства котлов-утилизаторов. Подогрев хвостовых газов. Холодильники-конденсаторы. Барботажные холодильники.

г). Абсорбционные колонны. Конструкции ситчатых тарелок. Новые конструкции тарелок. Интенсификация процессов окисления и абсорбции.

д). Каталитическая очистка выхлопных газов,

#### Литература

1. Справочник азотчика. Т.2. М., Химия, 1986, с. 63-98.
2. Атрощенко В.И., Каргин С.И. Технология азотной кислоты, М., Химия, 1970, с. 207-244.

#### Вопросы для самопроверки:

1. В чем преимущество установок, работающих под повышенным давлением?
2. Для чего в контактном аппарате под катализаторными сетками устанавливается слой колец Рашига?
3. В чем преимущество установок, работающих по комбинированной схеме?

#### Оборудование для производства крепкой азотной кислоты

а). Физико-химические основы процесса концентрирования азотной кислоты с применением водоотнимающих средств. Схема установки для концентрирования с помощью серной кислоты и нитрата магния. Аппаратура установок для концентрирования: колонна, конденсатор, испаритель. Материалы аппаратуры: применение ферросилида и алюминия. Сборка колонн: установка царг, выверка уровней. Конструкция трубопроводов: способы соединения труб.

б). Получение крепкой азотной кислоты из окислов азота. Методы выделения окислов азота. Схема установки для непосредственного получения крепкой азотной кислоты. Показатели режима. Аппаратура установок непрерывного действия. Конструкции реакционных колонн (автоклавы). Материалы для изготовления оборудования.

При работе над данным разделом обратить особое внимание на материалы для изготовления оборудования.

#### Литература

1. Справочник азотчика. Т.2. М., Химия, 1986, с. 98-132.
2. Атрощенко В.И., Каргин С.И. Технология азотной кислоты, М., Химия, 1970, с. 248-346.

Вопросы для самопроверки:

1. Из каких материалов изготавливается оборудование для производства крепкой азотной кислоты?
2. Как определяется реакционный объем колонн?
3. Для чего применяется отбелочная колонна?

Оборудование для производства аммиачной селитры

а). Применение аммиачной селитры и масштабы ее производства. Схемы производства. Режим работы аппаратов и показатели технологического процесса. Пути интенсификации и удешевления стоимости производства аммиачной селитры.

б). Аппаратура производства аммиачной селитры. Нейтрализаторы. Выпарные аппараты. Грануляционная башня. Охлаждение аммиачной селитры, хранение и упаковка. Меры безопасности при производстве, хранении и транспортировке.

При работе над данным разделом обратить особое внимание на устройство нейтрализатора.

Литература

1. Справочник азотчика. Т.2. М., Химия, 1986, с. 142-201.
2. Технология аммиачной селитры. Под редакцией Олевского В.М., М., Химия, 1978, с. 6-311.

Вопросы для самопроверки:

1. Для каких целей получают аммиачную селитру?
2. Из какого материала изготавливают барбатеры аммиака и азотной кислоты, аппарата нейтрализации ИТН?
3. Для чего устанавливают промывные скрубберы и грануляционную башню?

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №1.

Провести гидравлический расчет массообменного аппарата колонного типа по данным, приведенным в таблице 1.1.

Рассчитать толщину стенки: корпуса колонны, эллиптического днища кубовой части аппарата.

Литература

1. ГОСТ 14249. Сосуды и аппараты, нормы и методы расчета на прочность.

2. Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета технологического и природоохранного оборудования, Калуга, П.Бочкарева, справочник, том 1, 755 с, том 2, 987 с, том 3, 957 с.
3. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химических производств, Л., Химия, 1976.- 367 с.
4. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи. Под общей редакцией Соколова В.Н., Л., Машиностроение, 1982.- 384 с.



16  
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №2.

Рассчитать аммиачный холодильник-конденсатор (испаритель аммиака), применяемый в производстве синтетического аммиака для охлаждения и частичной конденсации производного аммиака из газовой смеси. Охлаждающим агентом служит жидкий аммиак, кипящий при температуре ниже нуля.

Исходные данные для расчета (при производительности 100 тонн производного аммиака в сутки):

1. Количество газа на входе в аппарат  $V'_1 = 58502 \text{ нм}^3/\text{ч}$ ;
2. Количество газа на выходе из аппарата  $V''_1 = 55924 \text{ нм}^3/\text{ч}$ ;
3. Состав газовых смесей в % об. на входе в аммиачный конденсатор указан в таблице 1.2, на выходе из него в таблице 1.3;
4. Температуры газа на входе в аппарат  $t'_1$  и на выходе из аппарата  $t''_1$  выбираются в зависимости от варианта по таблице 1.6;
5. Давление газа в аппарате  $P = 30,0 \text{ МПа}$ .

В контрольной работе:

1. Выбрать конструкцию аппарата;
2. Определить исходные температуры;
3. Составить эскиз конденсатора (схематично);
4. Определить количество жидкого аммиака (испаренного)  $G_2$  и тепловую нагрузку аппарата;
5. Определить значения физических параметров сред с учетом давления и температуры по таблицам 1.4 и 1.5;
6. Рассчитать поверхность теплообмена аппарата;
7. Провести конструктивный расчет аппарата.

Таблица 1.2

Состав газа на входе в конденсатор

Компоненты	Молекулярный вес	Состав по объему, %	Количество			Состав по весу, %
			$V'_1$ , нм <sup>3</sup> /ч	$B'_1$ , кг·моль/ч	$G'_1$ , кг/ч	
Водород	2,016	66,83	39097	1745,4	3519	14,31
Азот	28,020	22,28	13034	581,9	16305	66,31
Аммиак	17,034	7,90	4622	206,3	3514	14,29
Метан	16,030	2,99	1749	78,1	1252	5,09
Итого		100,0	58502	2611,7	24590	100,0



Таблица 1.3

Состав газа на выходе из конденсатора

Компо- ненты	Молеку- лярный вес	Состав по объему, %	Количество			Состав по весу, %
			$V_1''$ , нм <sup>3</sup> /ч	$B_1''$ , кг·моль/ч	$G_1''$ , кг/ч	
Водород	2,016	70,56	39160	1761,6	3551	15,82
Азот	28,020	23,52	13153	587,2	16453	73,31
Аммиак	17,034	2,80	1506	69,9	1191	5,30
Метан	16,030	3,12	1745	77,9	1249	5,57
Итого		100,0	5592,4	2496,6	22444	100,0

Таблица 1.4

Теплоемкости газовых смесей

Газовая смесь	Теплоемкость газовых смесей при температуре, °С					
	-5	0	5	15	25	35
На входе в аппарат	0,932	0,924	0,9248	0,9268	0,9286	0,9284
На выходе из аппарата	0,921	0,911	0,91	0,908	0,906	0,902

Таблица 1.5

Параметры сред в зависимости от температуры

Параметр	Значения параметров для:	
	Газовой смеси	Жидкого аммиака
Температура, °С	12	-25
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	108,96	671
$c$ , ккал/(кг·°С)	0,9262	1,07
$\mu \cdot 10^8$ , кг/(м·с)	1329	-
$\nu \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с	12,2	32,9
$\lambda \cdot 10^2$ , ккал/(м·ч·°С)	6,01	49,0
$\sigma \cdot 10^3$ , кгс/м	-	3,315
$\gamma$ , ккал/кг	-	321
$Pr$	0,737	-

Таблица 1.6

Варианты контрольных работ

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$t_1'$	15	25	35	15	25	35	15	25	35	35
$t_1''$	-5	0	-5	0	-5	0	-5	0	-5	0

Номер варианта выбирается студентом по последней цифре шифра.

## Литература

1. Румянцев В.Д. Оборудование цехов синтеза высокого давления в азотной промышленности, М., Химия, 1970.- 375 с.
2. Машины и аппараты химических производств. Под редакцией Чернобыльского И.И., М., Машиностроение, 1975.- 456 с.

## II. ОБОРУДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВ ОСНОВНОГО ОРГАНИЧЕСКОГО СИНТЕЗА И СИНТЕТИЧЕСКИХ КАУЧУКОВ

## Введение

Задачи курса. Значение промышленности ООС и СК в общей системе народного хозяйства. Особенности эксплуатации оборудования органических производств. Основные требования, предъявляемые к оборудованию производств ООС и СК. Задачи инженера-механика на производстве.

Материалы, применяемые для изготовления аппаратуры в производствах ООС и СК. Общие требования к материалам, области применения. Способы защиты металлов от коррозии.

## Вопросы для самопроверки:

1. Какие материалы применяются при температурах ниже  $-100^{\circ}\text{C}$  и при температурах выше  $1000^{\circ}\text{C}$ ?
2. Какие определяющие факторы влияют на выбор материалов для аппаратуры в химических производствах?
3. Запись и расшифровка марок сплавов на основе железа, меди, олова, алюминия, титана?
4. Как выбрать прибавку на коррозию?

## Литература

1. Рейхсфельд В.О., Еркова Л.Н. Оборудование производств основного органического синтеза и синтетических каучуков, Л., Химия, 1974.- 438 с.
2. Рейхсфельд В.О., Шеин В.С., Ермаков В.И. Реакционная аппаратура и машины заводов основного органического синтеза и синтетического каучука, Л., Химия, 1985.- 264 с.
3. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение, М., Машиностроение, 1980.- 512 с.

### Реакционная аппаратура производств основного органического синтеза

Общая характеристика реакционной аппаратуры производств ООС. Классификация реакторов: по технологическому признаку, по конструкции, по давлению. Процессы, проводимые в реакционной аппаратуре ООС. Влияние условий проведения процессов на выбор конструкции реакционных

аппаратов. Факторы, влияющие на технологический процесс: температура, давление, время контакта фаз, интенсивность массопередачи, катализаторы.

Реакторы для проведения реакций в газовой фазе над твердыми катализаторами. Их классификация.

Реакторы с неподвижным слоем катализатора. Реакторы с теплообменом через стенку: трубные, кожухотрубные, роторные. Адиабатические реакторы шахтного типа: реакторы с предварительным перегревом поступающей в реактор смеси; реакторы с предварительным подогревом катализатора или насадки; секционированные реакторы. Тепловые процессы в слое катализатора. Способы выравнивания температурного поля. Схемы смесителей и распределителей потока.

Реакторы с движущимся слоем катализатора. Их классификация. Реакторы с движущимся гранулированным слоем катализатора. Схемы установок, конструкции реакторов и регенераторов. Реакторы с псевдооживленным слоем катализатора. Схемы установок, конструкции реакторов и регенераторов. Закономерности псевдооживленного состояния.

Реакторы для проведения реакции в газовой фазе над жидкими катализаторами. Их классификация. Конструкция реакторов с мешалками, привод, концевые подшипники, мешалки, уплотнения вращающихся валов (сальниковые, торцевые). Расчет мощности, потребляемой мешалкой. Влияние перемешивания на эффективность жидкофазных реакторов. Теплопередача в аппаратах с мешалкой. Реакторы с механическим распыливанием жидкости; колонного типа с насадками или тарелками; барботажные, пленочные, пенные. Реакторы типа эрлифта.

Реакторы для проведения реакций в жидкой фазе и в эмульсиях. Реакторы с мешалкой и реакторы проточного типа.

Основы расчета реакторов. Расчет контактных аппаратов на основе удельной производительности катализаторов. Расчет адиабатических реакторов для реакций, протекающих в кинетической и диффузионной области. Моделирование химических процессов и реакторов. Модели идеального смещения и вытеснения. Ячеечная модель. Диффузионная модель. Математические модели реакторов с учетом тепловыделения. Оптимизация процессов, реакторов. Расчет реакторов с движущимся твердым катализатором, реакторов для системы газ-жидкость, барботажных и эрлифтного типа.

#### Вопросы для самопроверки

1. Классификация реакторов.
2. В каких случаях секционируют адиабатические реакторы?
3. В чем преимущество реакторов с движущимся слоем катализатора?
4. Какую роль выполняет слой инертной насадки на входе и выходе из слоя катализатора?

## Литература

1. Рейхсфельд В.О., Еркова Л.Н. Оборудование производств основного органического синтеза и синтетических каучуков, Л., Химия, 1974.- 438 с.
2. Рейхсфельд В.О., Шеин В.С., Ермаков В.И. Реакционная аппаратура и машины заводов основного органического синтеза и синтетического каучука, Л., Химия, 1985.- 264 с.
3. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи. Под общей редакцией Соколова В.Н. Л., Машиностроение, 1982.- 384 с.
4. ГОСТ 20680. Аппараты с механическими перемешивающими устройствами вертикальные. Типы и основные параметры.
5. Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета технологического и природоохранного оборудования, Калуга, П.Бочкарева, справочник, том 1, 755 с, том 2, 987 с, том 3, 957 с.
6. Поникаров И.И., Перельгин О.А., Доронин В.Н., Гайнулин М.Г. Машины и аппараты химических производств, М., Машиностроение, 1989.- 368 с.
7. Генералов М.Б., Силин В.С. Химические реакторы производств нитропродуктов. Учебное пособие для вузов, М., Академкнига, 2004.- 392 с.

Реакционная аппаратура и машины заводов  
синтетического каучука

Аппаратура полимеризационных процессов. Реакторы для полимеризации в эмульсии, растворе и в массе. Конструкции скребковых устройств. Расчет полимеризаторов. Закономерности теплообмена в скребковых аппаратах. Методика предварительного и уточненного расчёта полимеризаторов. Основы безопасной эксплуатации реакторов для полимеризации.

Оборудование процессов дегазации. Отгонка мономеров при эмульсионной полимеризации. Расчет процесса противоточной дегазации. Отгонка мономеров и растворителя в производстве каучука, получаемого полимеризацией в растворе. Водная и безводная дегазация. Емкостные, тарельчатые, пленочные дегазаторы. Их преимущества и недостатки.

Двухвалковые машины для дегазации каучуков и одновалковые машины для предварительной дегазации.

Оборудование процессов выделения каучука. Схемы коагуляции латексов и выделения каучуков. Молотковая дробилка, вакуум-фильтр, вымораживающий барабан, вибрационные машины, сушилки, червячные машины. Основы безопасной эксплуатации оборудования для выделения каучука.

## Вопросы для самопроверки

1. В чем состоят основные отличия аппаратного оформления полимеризационных процессов в эмульсии и растворе?
2. Какие существуют пути совершенствования конструкции отгонных колонн при эмульсионной полимеризации?
3. В чем заключаются основные преимущества водной и безводной дегазации каучуков?
4. Как осуществляется сушка каучуков в червячной сушилке?
5. Почему каучук не вращается вместе с червяком, а продвигается вдоль цилиндра?

## Литература

1. Рейхсфельд В.О., Шеин В.С., Ермаков В.И. Реакционная аппаратура и машины заводов основного органического синтеза и синтетического каучука, Л., Химия, 1985.- 264 с.
2. Кирпичников П.А. Альбом технологических схем основных производств промышленности синтетического каучука. Л., Химия, 1976.
3. Смирнов Н.Н. Реакторы в химической промышленности. М., Высшая школа, 1980, 60 с.
4. Манусов Е.Б., Буянов Е.А. Расчет реакторов объемного типа. М., Машиностроение, 1978, 112 с.
5. Поникаров И.И., Перельгин О.А., Доронин В.Н., Гайнулин М.Г. Машины и аппараты химических производств, М., Машиностроение, 1989.- 368 с.
6. Генералов М.Б., Силин В.С. Химические реакторы производств нитропродуктов. Учебное пособие для вузов, М., Академкнига, 2004.- 392 с.

## КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Студенты выполняют две контрольные работы: №1 и №2. Контрольная работа №1 включает выполнение задания №1 и задания №2.

Контрольная работа №2 включает выполнение задания №3 и задания №4.

Студент выбирает вариант задания по последней цифре шифра.

Для выполнения задания необходимо вычертить эскиз рассчитываемого аппарата, указать схему потоков, записать исходные данные. После завершения расчетов проставить на эскизе аппарата основные конструктивные размеры, дать полное описание работы аппарата, его конструктивных элементов, их устройство и назначение.

ЗАДАНИЕ 1

Рассчитать реактор периодического действия с рубашкой и перемешивающим устройством. Исходные данные для расчета взять в таблице 2.1. Принять в условии реакцию первого порядка.

Таблица 2.1

Исходные данные для расчета реактора

Вариант	$V_c, \text{м}^3/\text{с}$	$X_{\text{An}}, \text{кмоль}/\text{м}^3$	$n_A$	$t_p, ^\circ\text{C}$	$K_p \cdot 10^6$	$q_p \cdot 10^{-6}, \text{Дж}/\text{кмоль}$	$\mu_{\text{ж}} \cdot 10^3, \text{Па} \cdot \text{с}$	$C_{\text{ж}} \cdot 10^3, \text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$	$\lambda_{\text{ж}}, \text{Вт}/(\text{кг} \cdot \text{K})$	$\rho_{\text{ж}} \cdot 10^{-3}, \text{кг}/\text{м}^3$
0	25	0,25	0,65	110	51	1630	3,8	2,5	0,16	0,95
1	30	0,15	0,75	150	60	2700	4,0	3,1	0,14	0,88
2	80	0,16	0,65	175	42	2080	16,5	1,7	0,18	1,03
3	45	0,4	0,50	110	28	1700	17,0	1,8	0,23	1,05
4	43	0,23	0,65	145	45	1680	4,8	1,9	0,15	0,97
5	65	0,21	0,60	115	46	1720	10,6	2,3	0,16	0,86
6	10	0,15	0,65	125	46	4100	13,8	1,9	0,21	0,78
7	20	0,17	0,70	147	59	760	14,0	3,1	0,13	1,05
8	22	0,18	0,75	160	61	1920	6,3	2,7	0,15	1,10
9	28	0,13	0,75	145	61	2700	4,1	3,2	0,15	0,87

где:  $V_c$  – суточная производительность установки, включающей Z реакторов;

$X_{\text{An}}$  – начальная концентрация вещества A;

$n_A$  – степень превращения вещества;

$t_p$  – температура реакции;

$K_p$  – константа скорости реакции;

$q_p$  – удельная теплота реакции;

$\mu_{\text{ж}}$  – вязкость жидкости;

$C_{\text{ж}}$  – теплоемкость жидкости;

$\lambda_{\text{ж}}$  – теплопроводность жидкости;

$\rho_{\text{ж}}$  – плотность \ жидкости.

ЗАДАНИЕ 2

Рассчитать и выбрать тип барботажного реактора для проведения химических превращений по исходным данным, приведенным в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Исходные данные для расчета

Вариант	$V_{\text{ж}}, \text{м}^3/\text{ч}$	$V_{\text{г}}, \text{м}^3/\text{ч}$	$P, \text{МПа}$	$\tau_{\text{р}}, \text{ч}$	$q_{\text{р}} \cdot 10^{-5}, \text{Дж/кг}$	$t_{\text{р}}, ^\circ\text{C}$	$\theta, ^\circ\text{C}$	$\rho_{\text{ж}}, \text{кг/м}^3$	$C_{\text{ж}} \cdot 10^3, \text{Дж/(кг} \cdot \text{K)}$	$\lambda_{\text{ж}}, \text{Вт/(кг} \cdot \text{K)}$	$\nu_{\text{ж}} \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$\sigma \cdot 10^3, \text{Н/м}$
1	3,5	140	0,65	1,5	+7,8	130	105	910	1,9	0,13	1,40	19
2	4,0	600	0,25	4,0	+6,1	95	50	810	3,5	0,14	0,85	25
3	7,5	1400	0,80	0,8	-8,1	120	150	1020	4,1	0,63	1,22	55
4	4,5	1200	0,33	8,0	-4,1	110	140	790	2,7	0,20	0,73	23
5	10	700	0,50	0,6	+60	145	120	815	3,2	0,14	1,75	18
6	12	900	0,60	0,5	+5,1	160	140	970	2,0	0,10	0,58	16
7	4,0	900	0,15	6,0	-7,7	73	105	930	2,5	0,15	0,95	17
8	9,0	2100	0,30	1,0	+4,5	125	90	900	2,2	0,125	2,10	20
9	15	300	0,40	0,6	-1,8	120	150	792	2,3	0,162	0,30	19
0	9,5	1800	0,25	1,1	-10	112	125	880	1,9	0,13	0,35	21

где:  $V_{\text{ж}}$  – производительность аппарата по жидкости;  
 $V_{\text{г}}$  – расход газа, приведенный к рабочим условиям;  
 $P$  – давление в реакторе;  
 $\tau_{\text{р}}$  – время окисления;  
 $q_{\text{р}}$  – теплота реакции при окислении 1 кг сырья;  
 $t_{\text{р}}$  – температура реакции;  
 $\theta$  – наибольшая (наименьшая) допустимая температура теплоносителя;  
 $\rho_{\text{ж}}$  – плотность жидкости;  
 $C_{\text{ж}}$  – теплоемкость жидкости;  
 $\lambda_{\text{ж}}$  – теплопроводность жидкости;  
 $\nu_{\text{ж}}$  – кинематическая вязкость жидкости;  
 $\sigma$  – поверхностное натяжение на границе жидкость-газ.

ЗАДАНИЕ 3

Рассчитать и выбрать стандартный роторный пленочный аппарат для нагревания жидкости по условиям задач, приведенных в таблице 2.3. В качестве теплоносителя принять насыщенный водяной пар с давлением 0,7 МПа.

Исходные данные для расчета

Вариант	$G_n$ , кг/с	$t_n$ , °C	$t_k$ , °C	$\tau_{\text{доп}}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho_{\text{ж}}$ , Дж/кг·К	$C_p \cdot 10^{-3}$ , Дж/(кг·К)	$\lambda_{\text{ж}}$ , Вт/(кг·К)	$\nu_{\text{ж}} \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с
1	0,15	20	80	90	830	2,7	0,15	850
2	0,55	20	60	75	940	2,5	0,18	130
3	2,55	20	70	90	910	1,9	0,11	250
4	0,40	30	90	100	1050	2,9	0,23	320
5	0,30	30	100	100	850	3,2	0,17	1150
6	1,00	30	95	45	900	2,0	0,25	75
7	0,80	25	85	20	800	3,5	0,12	90
8	1,50	25	50	75	1120	2,1	0,16	150
9	2,25	20	70	90	1050	2,9	0,23	320
0	1,00	30	95	45	850	3,2	0,17	1150

где:  $G_n$  – начальная производительность аппарата;  
 $t_n$  – начальная температура жидкости;  
 $t_k$  – конечная температура жидкости;  
 $\tau_{\text{доп}}$  – допустимое время пребывания раствора в зоне нагрева;  
 $\rho_{\text{ж}}$  – плотность жидкости;  
 $C_p$  – удельная теплоемкость;  
 $\lambda_{\text{ж}}$  – теплопроводность жидкости;  
 $\nu_{\text{ж}}$  – вязкость жидкости.



ЗАДАНИЕ 4

Рассчитать и выбрать стандартизованный теплообменный аппарат.

Данные для расчета и тип теплообменного аппарата представлены в таблице 2.4.

## ЛИТЕРАТУРА

## к выполнению контрольных заданий

1. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи. Под общей редакцией Соколова В.Н. Л., Машиностроение, 1982.- 384 с.
2. Рейхсфельд В.О., Шеин В.С., Ермаков В.И. Реакционная аппаратура и машины заводов основного органического синтеза и синтетического каучука, Л., Химия, 1985.- 264 с.
3. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химических производств, Л., Химия, 1976.- 552 с.
4. Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета технологического и природоохранного оборудования, Калуга, П.Бочкарева, справочник, том 1, 755 с, том 2, 987 с, том 3, 957 с.
5. Поникаров И.И., Перелыгин О.А., Доронин В.Н., Гайнулин М.Г. Машины и аппараты химических производств, М., Машиностроение, 1989.- 368 с.

## Нормативные документы

1. ГОСТ 15122. Теплообменники кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе. Основные параметры и размеры.
2. ГОСТ 14246. Теплообменники кожухотрубчатые с плавающей головкой. Основные параметры и размеры.
3. ГОСТ 14245. Теплообменники кожухотрубчатые с U-образными трубами. Основные параметры и размеры.
4. ГОСТ 24304. Аппараты теплообменные кожухотрубчатые стальные сварные. Технические требования.
5. ГОСТ 12067. Теплообменники спиральные стальные. Типы, основные параметры и размеры.
6. ГОСТ 20680. Аппараты с механическими перемешивающими устройствами вертикальные. Типы и основные параметры.
7. ГОСТ 25167. Аппараты с механическими перемешивающими устройствами. Общие технические требования.

*Учебное издание*

**Машины и аппараты химических производств**

Программа, методические указания и контрольные задания для  
студентов-заочников специальности 240801 "Машины и аппараты  
химических производств"

Часть II

Составители:

ЛУКЬЯНИЦА Александр Иванович  
КЛОЧКОВ Валерий Иванович

Редактор Туманова Е.М.

Подписано в печать Формат 60х84 1/16.

Бумага «Снегурочка». Отпечатано на ризографе.

Усл. печ. л. 1,5. Уч.-изд. л. 1,8.

Тираж 50 экз. Заказ №

ГОУ ВПО "Российский химико-технологический университет  
им. Д.И. Менделеева"

Новомосковский институт (филиал). Издательский центр.

Адрес университета: 125047, Москва, Миусская пл., 9.

Адрес института: 301650 Новомосковск, Тульская обл., ул. Дружбы, 8



