

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

Ректор БГТУ, профессор

\_\_\_\_\_ И.М. Жарский

27 июня 2014 г.

Регистрационный № УД-742/баз.

## **ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности  
**1–25 01 07 Экономика и управление на предприятии**  
специализаций **1–25 01 07 24 Экономика и управление**  
на предприятии химической промышленности;  
**1–25 01 07 26 Экономика и управление в промышленности**  
строительных материалов

2014 г.

### **Составители:**

Д.Г. Калишук – доцент кафедры процессов и аппаратов химических производств учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», кандидат технических наук, доцент;

Д.И. Чиркун – старший преподаватель кафедры процессов и аппаратов химических производств учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», кандидат технических наук;

Н.П. Саевич – старший преподаватель кафедры процессов и аппаратов химических производств учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», кандидат технических наук

### **Рецензенты:**

В.Я. Груданов – заведующий кафедрой технологии и технического обеспечения процессов переработки учреждения образования «Белорусский государственный аграрно-технический университет», доктор технических наук, профессор;

В.С. Францкевич – доцент кафедры машин и аппаратов химических и силикатных производств учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», кандидат технических наук, доцент

### **Рекомендована к утверждению:**

Кафедрой процессов и аппаратов химических производств учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (протокол № 8 от 16.04.2014 г.);

Учебно-методическим советом учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (протокол № 6 от 27.06.2014 г.)

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

### Актуальность изучения дисциплины

Дисциплина «Процессы и аппараты химических технологий» является фундаментальной при подготовке специалистов экономического профиля для предприятий химической промышленности и промышленности строительных материалов. Она дает возможность приобрести знания о теоретических основах химической технологии, типовых химико-технологических процессах и аппаратах, основах методов их расчета.

### Цель и задачи дисциплины

Цель дисциплины – инженерная подготовка экономистов-менеджеров в области наиболее типовых процессов и аппаратов химических технологий для последующей успешной профессиональной деятельности, в первую очередь, при решении вопросов технико-экономического характера.

Основные задачи дисциплины – обучение студентов теории типовых процессов и аппаратов химических технологий, основам методик их расчета и анализа, в том числе при синтезе технических, инженерных и экономических задач, получение студентами первичных навыков решения конкретных прикладных задач.

Для овладения дисциплиной «Процессы и аппараты химических технологий» необходимы знания таких фундаментальных наук как «Высшая математика», «Теоретические основы химии». При последующем обучении студентов материалы дисциплины «Процессы и аппараты химических технологий», в первую очередь, будут востребованы при изучении дисциплин «Технология и оборудование синтеза и переработки полимеров», «Технология и оборудование производства минеральных удобрений и солей», «Технология и оборудование основного органического и нефтехимического синтеза», «Технология и оборудование производства керамических изделий», «Технология и оборудование производства стеклянных изделий», «Технология и оборудование вяжущих веществ». Также они необходимы при изучении дисциплин «Технология и оборудование производства строительных материалов на основе вяжущих веществ», «Логистика», «Маркетинг», «Экономика организации (предприятия)», «Инвестиционное проектирование», «Микроэкономика», «Планирование на предприятии отрасли», при прохождении технологической и преддипломной практик, при разработке технологических вопросов в дипломных проектах (работах).

## Требования к усвоению учебной дисциплины

В результате изучения дисциплины «Процессы и аппараты химических технологий» студент должен:

### **знать:**

- теоретические основы и назначение важнейших технологических процессов, используемых на химических предприятиях и предприятиях смежных отраслей (строительных материалов, фармацевтической, пищевой);
- типовые аппараты и установки для реализации основных химико-технологических процессов;
- современные технологии и аппараты для осуществления химико-технологических процессов, основные методы интенсификации и оптимизации работы действующих аппаратов и установок;
- основные положения и методы расчета, оптимизации и технико-экономического анализа процессов и аппаратов;

### **уметь:**

- решать основные инженерно-технологические задачи путем анализа, расчета и оптимизации процессов и аппаратов;
- использовать отраслевую научно-техническую информацию для сопоставления техно-экономических показателей родственных процессов и аппаратов;
- применять в дальнейшей профессиональной деятельности приобретенные инженерные знания для решения конкретных задач по ценообразованию, логистике, управлению качеством и конкурентоспособности продукции;
- оценивать соответствие поставленным технологическим целям проектных решений.

В результате изучения дисциплины «Процессы и аппараты химических технологий» студент формирует компетенции, позволяющие **владеть:**

- применением базовых научно-теоретических знаний для решения теоретических и практических задач;
- междисциплинарным подходом для решения теоретических и практических задач;
- знаниями в области теории и практического применения важнейших химико-технологических и смежных процессов и аппаратов;
- основами расчета, анализа и оптимизации химико-технологических процессов и аппаратов;
- умением использовать отраслевую научно-техническую и патентную информацию для решения задач устойчивого развития производственных подразделений предприятия (организации), своевременного обновления номенклатуры выпускаемой продукции, внедрения высоких технологий;

- навыками контроля отраслевых технологических процессов;
- пониманием сущности проектно-конструкторской и технологической подготовки производства;
- навыками ведения отдельных стадий производственной деятельности организации (предприятия), включая исследования и разработки;
- умением работы с научной, технической и патентной литературой.

### **Структура дисциплины**

Поставленные цели и задачи реализуются:

- на лекциях;
- на практических занятиях.

На лекциях рассматриваются:

- классификация, назначение и теоретические основы процессов и аппаратов;
- технико-экономические аспекты выбора разновидностей процессов и режимов их проведения, типов аппаратов и установок;
- основные положения инженерных расчетов процессов, аппаратов и установок, а также их оптимизации, в том числе с использованием современных информационных технологий;
- основные принципы аппаратурного оформления химических производств;
- типовые и современные аппараты и установки для осуществления химико-технологических процессов, перспективные направления развития химической техники и науки о процессах и аппаратах.

В ходе практических занятий студентами приобретаются навыки решения прикладных инженерных задач, а также осуществляется текущий мониторинг и контроль усвоения теоретического материала.

### **Место и объем учебной дисциплины**

В соответствии с учебным планом на изучение дисциплины отводится 102 часа, в том числе 68 аудиторных. Из них на лекции выделяется 34 часа, на практические занятия – 34 часа. Рекомендуемая форма контроля знаний – зачет.

## ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Наименование раздела, темы	Количество аудиторных часов		
	Лекции	Практические занятия	Всего
<b>Введение</b>	2	–	2
<b>1. Гидромеханические процессы и аппараты</b>			
1.1. Основы технической гидравлики	4	4	8
1.2. Перемещение жидкостей и газов	2	4	6
1.3. Гидродинамика гетерогенных систем	3	4	7
1.4. Разделение гетерогенных систем	3	4	7
1.5. Перемешивание в жидких средах	2	2	4
<b>2. Тепловые процессы и аппараты</b>			
2.1. Основы теории теплообмена	3	4	7
2.2. Теплообменные аппараты и промышленные способы использования тепла	2	2	4
2.3. Выпаривание	2	2	4
<b>3. Массообменные процессы и аппараты</b>			
3.1. Основы массопередачи	2	2	4
3.2. Абсорбция	2	2	4
3.3. Перегонка и ректификация	2	2	4
3.4. Термическая сушка	2	2	4
3.5. Адсорбция, экстракция и растворение	1	–	1
<b>4. Механические процессы, машины и аппараты</b>			
4.1. Измельчение и сортировка твердых материалов	2	–	2
Всего:	34	34	68

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### **Введение**

Содержание, задачи и роль дисциплины в подготовке экономистов-менеджеров. Связь дисциплины с другими учебными дисциплинами.

Классификация химико-технологических процессов и аппаратов. Роль совершенствования процессов и аппаратов в дальнейшем научно-техническом прогрессе, решение экономических и экологических проблем.

Основные принципы анализа и моделирования процессов и аппаратов. Общие закономерности расчетов и анализа процессов переноса субстанции. Основное кинетическое уравнение. Технико-экономическая оптимизация процессов и аппаратов.

### **Раздел 1. Гидромеханические процессы и аппараты**

#### *Тема 1.1. Основы технической гидравлики*

Классификация жидкостей в гидравлике, физические свойства жидкостей и газов и параметры их состояния. Плотность, вязкость. Давление.

Основное уравнение гидростатики и его практическое применение.

Гидродинамика и ее основные задачи. Характеристики потока жидкости.

Основные уравнения гидродинамики: уравнение сплошности потока, уравнение расхода; уравнение Бернулли для идеальной и реальной жидкостей. Практическое применение уравнений Бернулли.

Режимы движения жидкостей. Структура потоков и распределение локальных скоростей по их сечению.

Основные положения теории подобия, ее значение в научной и инженерной практике. Критерии гидродинамического подобия. Общий вид критериальных уравнений для описания движения потоков и гидромеханических процессов.

Потери давления в трубопроводах, Потери давления на трение и на местных сопротивлениях, их расчет. Расчет гидравлического сопротивления трубопровода. Технико-экономическое обоснование оптимального диаметра трубопровода.

#### *Тема 1.2. Перемещение жидкостей и газов*

Машины для перемещения жидкостей и газов, их классификация и области использования.

Насосы. Их классификация. Сведения о применении различных типов насосов. Основные характеристики работы насосов. Определение напора насоса и допустимой высоты всасывания.

Центробежные насосы. Их устройства и принцип действия.

Взаимодействие насоса и трубопроводной сети. Рабочая точка насоса. Основы подбора насосов.

Компрессорные машины. Вентиляторы и компрессоры.

*Тема 1.3. Гидродинамика гетерогенных систем*

Классификация гетерогенных систем, их роль и место в технологических процессах и окружающей среде.

Движение тел в жидкости. Расчет сил сопротивления при движении тела в жидкости. Состояние динамического равновесия при осаждении тела под действием силы тяжести. Методы расчета скорости осаждения в условиях динамического равновесия.

Движение потока через слой зернистого материала (пористый слой). Характеристики слоя зернистого материала. Состояние слоя зернистого материала (неподвижное, псевдооживленное, уноса), их место в технологических процессах. Гидравлическое сопротивление неподвижного и псевдооживленного слоев зернистого материала. Расчет основных параметров псевдооживленного слоя зернистого материала. Пути совершенствования аппаратов с псевдооживленным слоем зернистого материала.

*Тема 1.4. Разделение гетерогенных систем*

Методы разделения гетерогенных систем. Основные критерии выбора метода разделения.

Материальный баланс процесса разделения.

Осаждение под действием сил тяжести (гравитационное). Основные положения расчета отстойников. Типовые конструкции отстойников для разделения суспензий, эмульсий и газовзвесей.

Фильтрование. Движущая сила процесса и методы ее создания. Классификация механизмов фильтрования, осадков и фильтровальных перегородок. Основное уравнение фильтрования. Классификация фильтров и их типовые конструкции.

Разделение под действием инерционных сил. Разновидности инерционного разделения. Центробежные аппараты для разделения – циклоны и центрифуги. Центробежный фактор разделения. Циклоны для очистки газов и гидроциклоны. Центрифуги, их классификация и области применения. Конструкции фильтрующих и осадительных центрифуг.

Мокрая очистка газов. Скрубберы-пылеуловители.

Электрофильтры для очистки газов.

Оптимизация и пути совершенствования аппаратов и установок для разделения гетерогенных систем.

*Тема 1.5. Перемешивание в жидкой среде*

Назначение и роль процессов перемешивания. Способы перемешивания. Интенсивность и эффективность перемешивания. Технико-экономическое

обоснование интенсивности перемешивания. Механическое перемешивание. Конструкции и области применения типовых и современных мешалок. Мощность привода мешалки, ее расчет.

## **Раздел 2. Тепловые процессы и аппараты**

### *Тема 2.1. Основы теории теплообмена*

Роль тепловых процессов в химической промышленности и других сферах деятельности человека. Механизмы переноса тепла. Тепловые балансы. Движущая сила теплообмена.

Перенос тепла теплопроводностью. Параметры интенсивности переноса тепла (тепловой поток, плотность теплового потока). Уравнение закона Фурье. Теплопроводность плоских и цилиндрических стенок при установившемся теплообмене.

Перенос тепла конвекцией. Дифференциальное уравнение конвективного переноса тепла (уравнение Фурье-Киргофа). Уравнение теплоотдачи. Основные положения теплового подобия. Общий вид критериальных уравнений для описания теплообменных процессов.

Особенности теплоотдачи при вынужденной и естественной конвекции без изменения агрегатного состояния теплоносителя, при конденсации пара, кипении жидкости.

Теплопередача. Основное уравнение теплопередачи. Взаимосвязь коэффициента теплопередачи с коэффициентами теплоотдачи и тепловой проводимостью стенки. Движущая сила теплопередачи, расчет ее средней величины.

### *Тема 2.2. Теплообменные аппараты и промышленные способы использования тепла*

Классификация теплоносителей. Требования, предъявляемые к теплоносителям. Основные греющие теплоносители (топочные газы, водяной пар, горячая вода) и способы их использования. Основные охлаждающие теплоносители (вода, воздух) и способы их использования.

Классификация теплообменных аппаратов. Типовые конструкции поверхностных теплообменников (кожухотрубчатые, «труба в трубе», пластинчатые и др.). Смесительные теплообменники. Перспективные направления совершенствования теплообменников. Основные положения теплотехнического расчета поверхностных теплообменников.

### *Тема 2.3. Выпаривание*

Сущность процесса выпаривания, его значение и методы осуществления. Материальный баланс процесса. Определение температуры кипения раствора, депрессии. Тепловой баланс выпарного аппарата. Удельный расход греющего пара на выпаривание. Движущая сила выпаривания (полезная разность температур). Одно- и многокорпусные выпарные установки. Обоснование числа

корпусов выпарной установки. Классификация выпарных аппаратов, их типовые конструкции. Рекомендации по выбору выпарных аппаратов и установок, их оптимизации.

### **Раздел 3. Массообменные процессы и аппараты**

#### *Тема 3.1. Основы массопередачи*

Общая характеристика и классификация массообменных процессов. Их роль и место в химической промышленности и других сферах деятельности человека. Движущая сила массообмена.

Способы выражения состава фаз. Равновесие при массообмене, его законы. Материальный баланс массообменного процесса (аппарата). Уравнение рабочей линии массообменного процесса (аппарата).

Механизмы переноса вещества при массообмене. Молекулярная диффузия. Конвективный перенос вещества (турбулентная диффузия). Дифференциальное уравнение конвективного массообмена.

Уравнение массоотдачи. Движущая сила массоотдачи. Основные положения теории диффузионного подобия.

Массопередача. Основное уравнение массопередачи. Взаимосвязь коэффициентов массопередачи с коэффициентами массоотдачи. Движущая сила массопередачи, расчет ее средней величины.

Основы расчета массообменных аппаратов. Общие положения и порядок расчетов. Определение размеров массообменного аппарата с использованием основного уравнения массопередачи. Определение высоты аппарата через число и высоту единиц переноса. Степень изменения концентрации, теоретическая ступень взаимодействия фаз. Эффективность ступени изменения концентрации. Определение высоты аппарата через число ступеней изменения концентрации.

#### *Тема 3.2. Абсорбция*

Общие сведения об абсорбции, ее роль и место в химической и смежных технологиях.

Равновесие при абсорбции. Десорбция, ее роль и методы осуществления.

Материальный баланс абсорбера и его рабочая линия. Технико-экономическое обоснование рабочего расхода абсорбента и размеров абсорбера.

Классификация абсорберов. Типовые конструкции абсорберов (распылительные, насадочные, тарельчатые и др.).

Рекомендации по оптимизации выбора режимов проведения абсорбции и ее аппаратурного оформления.

#### *Тема 3.3. Перегонка и ректификация*

Общая характеристика процессов, их место и роль в химической и смежных технологиях.

Равновесие в системе пар – жидкость. Движущая сила процесса перегонки.

Ректификация. Установка для непрерывной ректификации бинарной смеси. Материальный баланс непрерывной бинарной ректификации. Уравнения рабочих линий бинарной ректификации. Основные уравнения теплового баланса непрерывно действующей ректификационной установки.

Расчет минимального и технико-экономическое обоснование рабочего флегмовых чисел. Оптимизация размеров ректификационного аппарата и энергопотребления ректификационной установки.

Конструкции тарельчатых ректификационных колонн.

#### *Тема 3.4. Термическая сушка*

Общая характеристика процесса, его роль и место в химических производствах и других сферах деятельности человека. Формы связи влаги с материалом. Методы сушки и технико-экономическое обоснование способов удаления влаги из материалов.

Конвективная сушка. Сушильные агенты и их выбор. Параметры состояния сушильного агента,  $I$ - $x$ -диаграмма влажного воздуха. Движущая сила сушки. Материальный и тепловой балансы конвективной сушилки. Отображение изменения параметров сушильного агента на  $I$ - $x$ -диаграмме.

Классификация сушилок и сушильных установок, их общая характеристика. Типовые конструкции конвективных сушилок (барабанная, камерная, кипящего слоя и др.). Пути совершенствования сушилок.

#### *Тема 3.5. Адсорбция, экстракция и растворение*

Общая характеристика процесса адсорбции, его роль и место в технологиях. Современные адсорбенты. Типовые конструкции адсорберов.

Экстракция из растворов и твердых тел, общая характеристика процессов. Аппаратурно-технологическое оформление экстракции.

Растворение твердых тел, его роль и место. Аппаратурно-технологическое оформление процесса.

### **Раздел 4. Механические процессы, машины и аппараты**

Классификация механических процессов химических технологий.

#### *Тема 4.1. Измельчение и сортировка твердых материалов*

Роль и место процесса измельчения в технологиях. Классификация методов и способов измельчения твердых материалов. Классификация машин для дробления и помола материалов. Общая характеристика типового дробильно-помольного оборудования.

Роль и место процесса сортировки в технологиях. Классификация методов сортировки твердых материалов. Грохочение и просеивание. Пневмо- и гидроклассификация твердых материалов.

## **ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **Технологии обучения**

При проведении лекций и практических занятий могут применяться видеопрезентации с помощью мультимедийных средств. На практических занятиях также могут быть применены электронные учебные материалы в виде тестов для текущего контроля знаний, а также письменные контрольные работы.

### **Диагностика компетенций студентов**

Для диагностики сформированности компетенций студентов по дисциплине предусматривается зачет. Промежуточный контроль знаний рекомендуется проводить во время практических занятий в виде устного опроса и письменных контрольных работ.

### **Рекомендации по организации самостоятельной работы студентов**

Самостоятельная работа студентов организуется деканатами, кафедрами, преподавателями в соответствии с Положением о самостоятельной работе студентов, которое разрабатывается высшим учебным заведением.

Компетентный подход предполагает существенное усиление практико-ориентированности образовательного процесса и роли самостоятельной деятельности студентов по разрешению задач и ситуаций, имитирующих социально-профессиональные проблемы.

По дисциплине рекомендуется разработать и использовать учебно-методический комплекс с материалами, помогающими студенту в организации самостоятельной работы, включающий:

- учебную программу дисциплины;
- конспект лекций;
- структурно-логические схемы процессов;
- альбом конструкций аппаратов;
- примерные вопросы к зачету;
- список литературы.

Самостоятельная работа студентов предусматривает ознакомление с научной, учебной и справочной литературой, выполнение учебно-исследовательских работ, подготовку к практическим занятиям и зачету, анализ конкретных ситуаций.

## Примерный перечень практических занятий

1. Физические свойства жидкостей и газов.
2. Уравнения прикладной гидравлики (расхода, неразрывности потока, Бернулли).
3. Потери давления на трение и местных сопротивлениях. Гидравлическое сопротивление трубопроводной сети и ее характеристика.
4. Подбор насосов и компрессорных машин.
5. Гидродинамика слоя зернистого материала.
6. Гравитационное осаждение и расчет отстойников.
7. Фильтрация.
8. Перемешивание жидких сред.
9. Тепловые балансы. Перенос тепла теплопроводностью.
10. Теплоотдача при конвективном теплообмене.
11. Расчеты теплообменных аппаратов.
12. Выпаривание.
13. Выражение состава фаз. Равновесие при массопереносе.
14. Абсорбция и основы расчетов абсорберов.
15. Перегонка и ректификация. Основы расчетов ректификационных аппаратов.
16. Сушка. Основы расчетов конвективной сушки.
17. Конструкции оборудования для измельчения и сортировки твердых материалов.

## Перечень основной литературы

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – М.: Альянс, 2004. – 751 с.
2. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. В 2-х кн. / Ю.И. Дытнерский. – М.: Химия, 2002. – 400 + 368 с.
3. Маркаў У.А. Працэсы і апараты хімічнай тэхналогіі У 2 ч. Ч. 1. Гідрамеханічныя і механічныя працэсы / У.А. Маркаў, П.Я. Вайцяховіч. – Мн.: БДТУ, 2002. – 302 с.
4. Маркаў У.А. Працэсы і апараты хімічнай тэхналогіі У 2 ч. Ч. 2. Цеплавныя і масаабменныя працэсы / У.А. Маркаў. – Мн.: БДТУ, 2006. – 442 с.
5. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков – М.: Альянс, 2007. – 576 с.

6. Калишук Д.Г. Процессы и аппараты химической технологии: учеб.-метод. Пособие для студентов специальностей 1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий», 1-48 01 02 «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий», 1-48 01 04 «Технология электрохимических производств», 1-48 02 01 «Биотехнология» / Д.Г. Калишук, Н.П. Саевич, А.И. Вилькоцкий. – Минск: БГТУ, 2011. – 426 с.

7. Боровик А.А. Процессы и аппараты химической технологии. Сборник примеров и задач. В 2 ч. Ч. 1. Техническая гидравлика Гидромеханические процессы / А.А. Боровик, С.К. Протасов, В.А. Марков. – Мн.: БГТУ, 2006. – 332 с.

8. Романков, П. Г. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи) / П. Г. Романков, В. Ф. Фролов, О. М. Флисюк. – СПб.: Химиздат, 2009. – 542 с.

### **Перечень дополнительной литературы**

9. Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий. В 3-х ч. Ч. 1 и 2. – С.-Пб.: АНО НПО «Профессионал», 2004, 2006. – 848 + 948 с.

10. Справочник химика. Т. 5. Под ред. Никольского. – М.–Л.: Химия, 1966. – 976 с.

11. Перри Дж. Справочник инженера-химика. Пер. с англ. В 2-х кн. / Дж. Перри. – Л.: Химия, 1969. – 640 + 504 с.

12. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии / Н.И. Гельперин. – М.: Химия, 1981. – 812 с.

13. Плановский А.Н. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии / А.Н. Плановский, П.И. Николаев.– М.: Химия, 1987. – 496 с.

14. Айнштейн В.Г. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: Учебник: В 2-х кн. / В.Г. Айнштейн, М.К. Захаров, Г.А. Носов и др.; Под ред. В.Г. Айнштейна. – М.: Логос; Высшая школа, 2002. – 912 + 872 с.

15. Шервуд Т. Массопередача / Т. Шервуд, Р.Л. Пигфорд, У. Уилки. – М.: Химия, 1982. – 696 с.

16. Александров И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. Методы расчета и основы конструирования / И.А. Александров. – М.: Химия, 1978. – 280 с.

17. Рамм В.М. Абсорбция газов / В.М. Рамм. – М.: Химия, 1976. – 656 с.

18. Сажин Б.С. Основы техники сушки / Б.С. Сажин. – М.: Химия, 1984. – 320 с.

19. Таубман Е.И. Выпаривание / Е.И. Таубман. – М.: Химия, 1982. – 362 с.
20. Романков П.Г. Процессы и аппараты химической промышленности / П.Г. Романков, М.И. Курочкина, Ю.Я. Мозжерин, Н.Н. Смирнов. – Л.: Химия, 1989. – 560 с.
21. Игнатович Э. Химическая техника. Процессы и аппараты. Пер. с нем. / Э. Игнатович. – М.: Техносфера, 2007. – 656 с.
22. Фролов В.Ф. Лекции по курсу «Процессы и аппараты химической технологии». – 2-е изд, испр. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. – 608 с.
23. Процессы и аппараты химической технологии. Явление переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование: в 5 т. Т. 1. Основы теории процессов химической технологии / Д. А. Баранов [и др.]: под ред. А. М. Кутепова. – М.: Логос, 2000. – 480 с..
24. Процессы и аппараты химической технологии. Явления переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование: в 5 т. Т. 2. Механические и гидромеханические процессы / Д. А. Баранов [и др.]: под ред. А. М. Кутепова. – М.: Логос, 2002. – 600 с.
25. Скобло, А. И. Процессы и аппараты нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности / А. И. Скобло, И. А. Трегубов, Ю. К. Молоканов. – М.: Химия, 1982. – 584 с.
26. Молоканов, Ю. К. Процессы и аппараты нефтегазопереработки / Ю. К. Молоканов. – М.: Химия, 1987. – 368 с.