

Учреждение образования  
«Белорусский государственный технологический университет»

**УТВЕРЖДЕНА**  
Ректором БГТУ  
профессором И.М. Жарским  
11 июня 2013 года  
Регистрационный № УД-659/баз.

**ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПРОИЗВОДСТВА  
МЕДИЦИНСКИХ ПРЕПАРАТОВ**

Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине  
для специальности 1-36 07 01  
Машины и аппараты химических производств и предприятий  
строительных материалов  
специализации 1-36 07 01 06  
Машины и аппараты фармацевтической промышленности

Минск БГТУ 2013

УДК 66.02:615.2(076)  
ББК 30.605с:52.8я73  
П 84

**Рекомендована к утверждению:**

Кафедрой машин и аппаратов химических и силикатных производств учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (протокол № 8 от 16 апреля 2013 г.);

Учебно-методическим советом учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (протокол № 6 от 10 июня 2013 г.)

**Составители:**

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

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

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

**Рецензенты:**

С.И.Адамович – заместитель генерального директора по производству Республиканского унитарного производственного предприятия «Белмедпрепараты»;

В.В.Кузьмин – доцент кафедры процессов и аппаратов химических производств учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», кандидат технических наук, доцент.

**Процессы и аппараты производства медицинских препаратов:** Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине для специальности 1-36 07 01 Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов специализации 1-36 07 01 06 Машины и аппараты фармацевтической промышленности / сост. В.Н.Павлечко, Д.И.Мисюля, Д.Г.Калишук: – Минск, БГТУ, 2013. – 19 с.

УДК 66.02:615.2(076)

ББК 30.605с:52.8я73

П 84

© Учреждение образования  
«Белорусский государственный  
технологический университет», 2013

© Павлечко В.Н., Мисюля Д.И.,  
Калишук Д.Г. 2013

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

### Актуальность изучения дисциплины

Дисциплина «Процессы и аппараты производства медицинских препаратов» относится к числу фундаментальных при подготовке специалистов для предприятий фармацевтической промышленности, дает возможность приобрести знания о теоретических основах технологии, типовых процессах и аппаратах и их методах расчета.

Процессы, используемые на различных стадиях производства в фармацевтической промышленности, разноплановы и разнообразны: механические, гидромеханические, тепловые, массообменные и другие. Еще большим разнообразием обладает оборудование (аппараты и машины) для осуществления этих процессов. Устройство, принцип действия применяемого оборудования зависит от его назначения, производительности, свойств перерабатываемых продуктов и иных факторов. Процессы и оборудование одного и того же назначения могут отличаться своими показателями о ресурсо- и энергопотреблению, экологической и производственной безопасности. Поэтому для осуществления политики ресурсо- и энергосбережения и безопасности на предприятиях фармацевтической промышленности необходимо знать особенности технологических процессов и аппаратуры для его осуществления.

### Цель и задачи дисциплины

Цель дисциплины – инженерная подготовка в области расчета, теории, моделирования и проектирования процессов и аппаратов фармацевтических производств, а также их оптимизации и внедрения этих процессов и оборудования в производство.

#### Основные задачи дисциплины:

- изучение теории процессов и аппаратов фармацевтической промышленности, принципов их расчета; моделирования; оптимизации и проектирования;
- изучение средств и методов ресурсо- и энергосбережения при осуществлении конкретных технологических процессов;
- освоение навыков расчета технологических параметров и оптимизации процессов и оборудования для их осуществления;
- выработка творческого инженерного подхода при выполнении работ по проектированию новых и совершенствованию существующих процессов и оборудования.

### Требования к усвоению учебной дисциплины

В результате изучения дисциплины «Процессы и аппараты производства медицинских препаратов» выпускник должен:

**знать:**

- теоретические основы и назначение технологических процессов, используемых в фармацевтической промышленности;
- принципы работы и методы расчета аппаратов и устройств, применяемых в производствах медицинских препаратов;
- новые технологии и способы технического усовершенствования действующих установок с целью повышения их производительности и технико-экономических показателей;
- методы моделирования, расчета и оптимизации процессов и аппаратов, пути совершенствования фармацевтической технологии и техники;

**уметь:**

- решать конкретные производственные задачи посредством анализа, моделирования, расчета и оптимизации процессов и аппаратов, а также самостоятельно проводить исследования, обработку экспериментальных данных и использовать научно-исследовательские результаты для обновления и усовершенствования технологических линий;
- анализировать закономерности протекания основных процессов;
- уверенно обращаться с аппаратами при строгом соблюдении всех правил техники безопасности.

В процессе освоения данной дисциплины студент формирует и демонстрирует компетенции, позволяющие:

- разрабатывать и реализовывать новые технологические процессы;
- Владеть методами технологического, конструктивного и гидродинамического расчета оборудования;
- подбирать оборудование фармацевтических производств и выбирать оптимальные условия его работы;
- самостоятельно проводить научные исследования и обрабатывать результаты эксперимента;
- уметь работать самостоятельно и постоянно повышать свой профессиональный уровень;
- применять полученные базовые научно-теоретические знания для решения научных и практических задач;
- осуществлять комплексный подход к решению проблем;
- участвовать в разработке производственных и технологических процессов;
- применять эффективную организацию производственных процессов, включая рациональное построение производственных систем;
- находить оптимальные проектные решения;
- рассчитывать и обосновывать технические показатели процессов производства медицинских препаратов;
- выбирать оптимальные варианты проведения научно-исследовательских работ.

## **Структура дисциплины**

Структура дисциплины «Процессы и аппараты производства медицинских препаратов» включает:

- лекции, на которых изучаются технологические процессы, конструктивные особенности и принцип действия оборудования фармацевтических производств;
- практические занятия, направленные на приобретение навыков расчета технологических параметров процессов и аппаратов;
- лабораторные занятия, в ходе которых изучаются отдельные технологические процессы и режимы работы отдельных видов оборудования.

Завершающей стадией изучения дисциплины является выполнение курсового проекта, призванное закрепить у студентов полученные знания по практическому расчету и технологическому проектированию оборудования.

## **Место и объем учебной дисциплины**

Дисциплина «Процессы и аппараты производства медицинских препаратов» изучается на завершающей стадии общетехнического и общеинженерного обучения. Поскольку теоретические основы дисциплины сопряжены с анализом, решением прикладных задач, то для успешного усвоения материала студенты должны быть подготовлены по таким общеинженерным дисциплинам, как «Высшая математика», «Физика», «Информатика и компьютерная графика», «Теоретическая механика», «Общая, неорганическая и физическая химия», «Начертательная геометрия и инженерная графика», «Гидравлика, гидравлические машины и гидропривод», «Термодинамика и теплопередача» и др.

Дисциплина изучается в 7, 8 семестрах, ее объем составляет 384 часа, в том числе 186 часов аудиторных занятий, из них: 102 часа лекций, 34 часа практических занятий, 50 часов лабораторных занятий. Предусматривается выполнение курсового проекта и два экзамена.

## **Технологии обучения**

Основными технологиями обучения являются проблемное обучение, разноуровневое обучение, использование компьютерных продуктов, технологии сквозного обучения.

## **Диагностика компетенций студентов**

Для диагностики сформированности определенных компетенций предусматриваются два экзамена, защита курсового проекта и отчетов по выполненным лабораторным работам. Рекомендуются использовать индивидуальные задания и коллоквиумы.

## **Организация 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 управляемой 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;
- методические указания и тематику заданий к курсовому проекту;
- методические указания к выполнению лабораторных работ;
- структурно-логические схемы процессов;
- атлас конструкций аппаратов;
- примерные вопросы к зачету и экзамену;
- список литературы.

Управляемая самостоятельная работа студентов предусматривает выполнение курсового проекта, ознакомление с научной, учебной и справочной литературой, выполнение учебно-исследовательских работ, подготовку к лабораторным работам, анализ конкретных ситуаций.

## ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Наименование раздела, темы	Количество аудиторных часов			
	лекции	практические занятия	лабораторные занятия	всего
<b>Введение</b>	<b>2</b>			<b>2</b>
<b>Раздел 1. Гидромеханические процессы и аппараты</b>	<b>32</b>	<b>10</b>	<b>17</b>	<b>59</b>
1.1 Гидродинамика псевдооживленных (кипящих) зернистых слоев	4	2	2	8
1.2 Разделение гетерогенных систем	2		2	4
1.3 Разделение под действием силы тяжести	2	2	3	7
1.4 Разделение гетерогенных систем под действием разности давления	6	2	4	12
1.5 Разделение гетерогенных систем в поле центробежных сил	6	2	4	12
1.6 Специальные методы разделения	6	2	2	10
1.7 Мембранные процессы и аппараты	6			6
<b>Раздел 2. Тепловые процессы и аппараты</b>	<b>20</b>	<b>7</b>	<b>16</b>	<b>43</b>
2.1 Общая характеристика тепловых процессов	2	2		4
2.2 Основы теплопередачи	2	2	4	8
2.3 Промышленные способы подвода и отвода тепла	2		4	6
2.4 Теплообменные аппараты	2		4	6
2.5 Охлаждение	2		2	4
2.6 Выпаривание	6	3	2	11
2.7 Асептика, стерилизация и пастеризация	4			4
<b>Раздел 3. Массообменные процессы и аппараты</b>	<b>48</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>82</b>
3.1. Общая характеристика массообменных процессов	6		2	8
3.2 Кинетика массообменных процессов	4			4
3.3 Массопередача	4			4
3.4 Экстрагирование в системе жидкость – твердое тело, жидкость – жидкость	4	3	2	9
3.5 Абсорбция	4	2	4	10
3.6 Адсорбция	4	2	3	8
3.7 Ионный обмен	2			2
3.8 Кристаллизация	2	2		4
3.9 Дистилляция	6	2		8
3.10 Ректификация	6	2	4	12
3.11 Сушка и сушилки	8	4	2	14
<b>Всего:</b>	<b>102</b>	<b>34</b>	<b>50</b>	<b>186</b>

# СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

## Введение

Предмет и задачи дисциплины. Классификация основных процессов и аппаратов фармацевтических производств. Общие принципы расчета процессов и аппаратов. Материальный и тепловой балансы. Интенсификация производственных процессов, их механизация и автоматизация. Требования к технологическому оборудованию (производительность, качество продукции, стандартизация, нормализация, унификация, энергопотребление, надежность, безопасность и др.).

## Раздел 1. Гидромеханические процессы и аппараты

### *1.1 Гидродинамика псевдоожигенных (кипящих) зернистых слоев.*

Использование псевдоожигения в фармацевтическом производстве. Характеристика псевдоожигения. Основные параметры псевдоожигенного слоя. Физические основы псевдоожигения.

### *1.2 Разделение гетерогенных систем.*

Классификация и основные характеристики и свойства гетерогенных систем. Основные способы разделения фаз. Классификация, принципы выбора и оценка эффективности методов разделения.

### *1.3 Разделение под действием сил тяжести.*

Характеристика процесса. Осаждение и отстаивание. Скорость отстаивания. Факторы, влияющие на скорость отстаивания. Устройство отстойников периодического и полунепрерывного действия. Производительность отстойников.

### *1.4 Разделение систем под действием разности давления.*

Фильтрование. Характеристика процесса. Теория фильтрования: сопротивление перегородки и осадка, производительность фильтра. Скорость фильтрования, ее зависимость от перепада давления, температуры и структуры осадка. Уравнение фильтрования. Классификации видов фильтрования. Фильтрующие материалы и требования к ним. Фильтры для поверхностного и глубинного фильтрования. Способы фильтрования. Классификация фильтрующей аппаратуры по режиму работы и величине рабочего давления. Устройства и принципы работы нутч-фильтров, фильтр-прессов, патронных, барабанных, дисковых фильтров. Фильтры для очистки газов от пылей. Сравнительный анализ различных фильтров.

### *1.5 Разделение систем в поле центробежных сил.*

Циклонный процесс и центрифугирование. Фактор разделения. Очистка газов от пыли в циклонах. Разделение суспензий и эмульсий в гидроциклонах. Теоретические основы центрифугирования. Центробежное отстаивание и центробежное фильтрование. Классификация центрифуг по величине фактора разделения, индекса производительности, по режиму работы, по способу выгрузки

осадка, по конструктивным признакам. Центрифуги фильтрующие и отстойные, периодического и непрерывного действия. Сверхцентрифуги. Сепараторы. Сравнительные характеристики и выбор центрифуг.

### *1.6 Специальные методы разделения.*

Мокрая очистка газов. Классификация, области применения и основные конструкции мокрых пылеуловителей. Методы расчета эффективности мокрых пылеуловителей.

Электрическая очистка. Физическая сущность способа. Механизм ионизации газов и скорость осаждения заряженных частиц. Типы электрофильтров.

Выбор метода разделения оптимизация процессов разделения.

### *1.7 Мембранные процессы и аппараты.*

Характеристика мембранных процессов. Теории мембранного разделения: просеивания, молекулярной диффузии, капиллярно-фильтрационной проницаемости. Параметры процесса: проницаемость, селективность.

Основные мембранные методы: обратный осмос ультрафильтрация, испарение через мембрану, диализ, электродиализ. Мембраны. Характеристика полупроницаемых мембран. Пористые и непористые мембраны, их использование. Механизмы переноса через пористые и непористые перегородки при разделении газовых и жидких смесей. Мембраны уплотняющиеся (полимерные) и с жесткой структурой. Жидкие мембраны.

Баромембранные процессы: обратный осмос, ультра- и микрофильтрация, диафильтрация.

Диффузионно-мембранные процессы: мембранное газоразделение, испарение через мембрану, диализ. Электромембранные процессы. Термомембранные процессы.

Классификация и основные конструктивные типы (плоскорамные, рулонные, трубчатые, с полыми волокнами) мембранных аппаратов и установок.

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

*2.1 Общая характеристика тепловых процессов (нагревание, охлаждение, конденсация, выпаривание, сушка и др.).*

Использование процессов теплообмена в фармацевтической технологии. Основные понятия и определения: температурное поле, градиент температуры, тепловой поток, теплоносители, теплообменники. Уравнения теплового баланса. Способы переноса тепла (теплопроводность, конвекция, лучеиспускание). Совместный перенос тепла конвекцией и излучением.

### *2.2 Основы теплопередачи.*

Основное уравнение теплопередачи. Движущая сила процесса (средняя разность температур теплоносителей). Коэффициент теплопередачи. Связь между коэффициентом теплопередачи и коэффициентами теплоотдачи. Распределение температур вдоль поверхности теплопередачи. Взаимное направление движения теплоносителей (прямоток, противоток, перекрестный ток,

смешанный ток). Влияние схемы движения теплоносителей на среднюю разность температур.

### *2.3 Классификация промышленных способов подвода и отвода тепла.*

Теплоносители. Требования, предъявляемые к ним, их сравнительные характеристики и области применения. Использование водяного пара как теплоносителя. Характеристика водяного пара: влажного насыщенного, сухого насыщенного, перегретого. Нагревание водяным паром: "острым", "глухим". Жаротрубные и водотрубные котлы для наработки водяного пара. Нагревание топочными газами. Использование технических и отходящих газов в качестве теплоносителей. Нагревание промежуточными теплоносителями: парами высокотемпературных органических теплоносителей (ВОТ), перегретой водой, минеральными маслами, расплавленными смесями солей. Способы нагревания электрическим током.

### *2.4 Теплообменные аппараты.*

Поверхностные теплообменники (змеевиковые, кожухотрубные, с оребренными поверхностями, пластинчатые, спиральные и др.). Смесительные (контактные) теплообменники (конденсаторы смешения, аппараты с барботажом пара и газа, с погружными горелками и др.). Регенеративные теплообменники. Сравнительная характеристика, принципы выбора и области применения теплообменных аппаратов различных конструкций. Основные тенденции совершенствования конструкций теплообменных аппаратов.

### *2.5 Охлаждение.*

Отвод тепла водой, воздухом и низкотемпературными жидкими хладагентами. Водоборотные циклы фармацевтических производств.

Конденсация. Определение. Механизмы конденсации: пленочная, капельная. Устройство конденсаторов: поверхностных и смешения (прямо- и противоточные).

Замораживание. Применение охлаждения и замораживания в фармацевтической технологии. Криопроцессы.

### *2.6 Выпаривание.*

Определение. Назначение и технические методы выпаривания. Применение выпаривания в фармацевтической технологии. Преимущество выпаривания под вакуумом. Материальный и тепловой балансы выпарного аппарата. Температура кипения раствора. Температурные потери (депрессии) и пути их снижения. Конструкции выпарных аппаратов (трубчатые, со свободной циркуляцией, с естественной циркуляцией, с принудительной циркуляцией, пленочные, роторные). Вакуум-выпарные установки. Неганивные явления при выпаривании: образование инкрустаций, брызго- и пеноунос. Пути их снижения.

Методы повышения экономичности процесса выпаривания. Выпаривание с термокомпрессией вторичного пара.

### *2.7 Асептика, стерилизация и пастеризация.*

Назначение, классификация, зависимость интенсивности и эффективности процесса от температуры. Периодическая и непрерывная стерилизация, аппаратное оформление процесса.

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

#### *3.1 Общая характеристика массообменных процессов.*

Классификация. Место и роль процессов массообмена в фармацевтической технологии.

Статика массообменных процессов. Способы выражения состава фаз. Законы фазового равновесия. Коэффициент распределения. Направление процессов массопереноса, их обратимость.

#### *3.2 Кинетика массообменных процессов.*

Основные понятия. Механизмы переноса массы. Молекулярная диффузия. Коэффициенты молекулярной диффузии. Конвективная диффузия, коэффициент конвективной диффузии. Механизм конвективного массообмена. Уравнение массоотдачи. Диффузионное подобие. Диффузионный пограничный слой. Теоретические модели переноса массы (пленочная, пограничного слоя, поверхности обновления и др.).

#### *3.3 Массопередача.*

Основное уравнение массопередачи. Коэффициенты массопередачи и их выражение. Средняя движущая сила процесса массопередачи. Методы интенсификации процесса массопередачи. Влияние факторов гидродинамики на интенсивность массообменного процесса.

#### *3.4 Экстрагирование в системе жидкость – твердое тело, жидкость – жидкость.*

Общая характеристика процесса и особенности экстрагирования в системах жидкость - твердое тело и жидкость - жидкость. Растворители (экстрагенты) для жидкостной экстракции, их характеристика. Коэффициент распределения. Выбор экстрагента. Основные способы экстрагирования: экстракция однократная, многократная с перекрестным током растворителя, многократная противоточная, циркуляционная.

Экстракторы. Устройство и принцип работы смесительно-отстойных и дифференциально-контактных (распылительных, роторно-дисковых, пульсационных, центробежных) экстракторов.

#### *3.5 Абсорбция.*

Характеристика процесса. Выбор абсорбента. Физическая абсорбция и абсорбция сопровождаемая химической реакцией. Равновесие между фазами. Влияние температуры и давления на равновесие. Десорбция и способы ее проведения. Материальный баланс процесса. Основные принципы расчета абсорбторов. Принципиальные схемы абсорбционно-десорбционных установок.

#### *3.6 Адсорбция.*

Общая характеристика и использование процессов для разделения и выделения веществ из газовых, парогазовых и жидких смесей.

Адсорбенты, их основные свойства и области применения. Кинетика адсорбции. Пути интенсификации адсорбционных процессов. Десорбция, способы ее проведения. Адсорберы. Классификация и общие принципы устройства. Аппараты с неподвижным и взвешенным слоем, с плотным движущимся слоем.

### *3.7 Ионный обмен.*

Ионнообменные материалы, классификация, основные свойства и области применения. Основы теории ионного обмена. Принципиальные схемы ионнообменных установок. Применение адсорбции и ионного обмена в фармацевтической технологии.

### *3.8 Кристаллизация.*

Определение. Общая характеристика и основы кинетики кристаллизации. Скорость образования и роста кристаллов. Равновесие при кристаллизации. Зависимость равновесной концентрации и пересыщения от температуры. Влияние условий кристаллизации на скорость процесса и характеристики кристаллов.

Методы кристаллизации. Способы охлаждения растворов. Кристаллизационное разделение смесей. Направленная кристаллизация. Кристаллизаторы: поверхностные и объемные.

### *3.9 Дистилляция.*

Способы разделения жидких смесей. Определение. Характеристика процессов. Основные законы (1-й и 2-й законы Коновалова).

Дистилляция. Закон Рауля-Дальтона. Материальный баланс дистилляции. Простая и фракционная дистилляция. Простая дистилляция с дефлегмацией. Перегонка под вакуумом. Дистилляция в токе водяного пара или инертного газа. Молекулярная дистилляция.

### *3.10 Ректификация.*

Физические основы ректификационных процессов. Материальный и тепловой балансы ректификационной установки. Схемы установок для непрерывной и периодической ректификации бинарных и многокомпонентных смесей. Разделение смесей с близкими температурами кипения и азеотропных смесей. Ректификационные аппараты и установки. Особенности конструктивного оформления. Безопасность при ректификации. Основы расчета ректификационных колонн и установок.

### *3.11 Сушка и сушилки.*

Определение и характеристика процесса. Статика. Формы связи влаги с материалом: механически связанная, физико-химически связанная, химически связанная. Основные физические свойства влажного воздуха: относительная и абсолютная влажность, теплосодержание, влагосодержание, удельная теплоемкость. Кинетика сушки. Тепло- и массообмен между воздухом и материалом. Типовые кинетические кривые сушки. Периоды постоянной и падающей ско-

ростей сушки. Критическое влагосодержание. Факторы, влияющие на процесс сушки. Пути интенсификации и повышения экономичности процесса сушки.

Конвективные (камерные, туннельные, барабанные, пневматические, распылительные, с псевдооживленным слоем), контактные (вакуум-сушильные, барабанные непрямого действия, гребковые, вальцовые, комбинированные). Специальные способы сушки: радиационная, токами высокой частоты, сорбционная сушка. Лиофильная: сублимационная, распылительная.

## **ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **Примерная тематика практических занятий**

Тематика практических занятий формируется в соответствии с последовательностью изложения лекционного материала и охватывает практически все основные разделы дисциплины. На практических занятиях проводится расчеты технологических процессов и конструктивных параметров аппаратов, обретается опыт работы с нормативной документацией по подбору стандартного оборудования. На всех практических занятиях каждому студенту выдается индивидуальное задание, что заставляет самостоятельно принимать решение по конструктивному оформлению технологической установки.

Рекомендуемый перечень тем практических занятий.

1. Основы составления материальных и тепловых балансов технологических процессов и оборудования.
2. Основы расчетов аппаратов псевдооживленного слоя.
3. Основы расчета отстойников.
4. Основы расчета циклонов и центрифуг.
5. Основные уравнения при фильтровании. Расчет и выбор фильтров.
6. Расчет переноса тепла теплопроводностью, коэффициентов теплоотдачи, теплопередачи, движущей силы процесса теплопередачи.
7. Расчет теплообменников. Технологические аспекты в работе теплообменников.
8. Расчет тепловой изоляции.
9. Расчет температуры кипения растворов, материальных и тепловых балансов выпарных аппаратов.
10. Расчет однокорпусной выпарной установки.
11. Расчет выпарной установки с тепловым насосом.
12. Основы расчета многокорпусных выпарных установок.
13. Основы расчета массообменных аппаратов. Составление материальных балансов, расчет коэффициентов диффузии, движущей силы процессов массообмена, числа действительных тарелок (высоты насадки), диаметра и высоты аппарата (абсорберов, ректификационных колонн, адсорберов и др.).
14. Основы расчетов абсорберов.

15. Основы расчета ректификационных аппаратов.
16. Параметры влажного воздуха. Составление материальных и тепловых балансов процесса сушки, расчет затрат тепла на проведение процесса.
17. Особенности организации технологических процессов. Анализ путей ресурсо- и энергосбережения.

### **Примерная тематика лабораторных занятий**

1. Определение гидравлического сопротивления сухой и орошаемой насадки. Безопасность при проведении лабораторных работ.
2. Изучение гидродинамики барботажных тарелок.
3. Определение скорости начала псевдооживления и степени расширения слоя зернистого материала; определение скорости начала уноса.
4. Изучение работы циклона.
5. Определение констант процесса фильтрования.
6. Определение производительности вакуум-фильтра (барабанного или другой конструкции).
7. Разделение суспензий на центрифуге.
8. Изучение процесса теплопередачи в теплообменнике.
9. Определение продолжительности нагревания или охлаждения жидкости в условиях нестационарного теплообмена.
10. Определение рабочих характеристик однокорпусной выпарной установки.
11. Изучение процесса абсорбции.
12. Изучение процесса ректификации
13. Изучение процесса адсорбции.
14. Изучение процесса жидкостной экстракции.
15. Изучение кинетики процесса сушки.
16. Изучение процесса конвективной сушки.
17. Изучение устройства и работы регенеративного теплообменника.
18. Исследование теплопередачи в рекуперативном теплообменнике.
19. Изучение работы сушилки виброкипящего слоя.
20. Изучение конструкций, исследование производительности и равномерности распыла центробежных форсунок.
21. Изучение конструкции и принципа действия фильтр-пресса и барабанного вакуум-фильтра.

### **Примерная тематика курсового проектирования**

Выполненный курсовой проект должен представлять самостоятельно выполненную студентом проектную разработку установки по одной из основных тем дисциплины: например «Рассчитать и спроектировать выпарную установку», «Рассчитать и спроектировать абсорбционную установку», «Рассчи-

тать и спроектировать ректификационную установку», «Расчитать и спроектировать сушильную установку», охватывая несколько важнейших разделов курса, включая гидравлические, тепловые и оптимизационные расчеты.

Курсовые проекты могут выполняться и как научно-исследовательские работы, что дает большие возможности для проявления и использования творческих способностей студентов, ознакомления их с навыками такой работы.

Расчетно-пояснительная записка к курсовому проекту включает: обоснование и описание схемы установки; обоснование выбора конструкции аппарата для проведения процесса, описание вспомогательного оборудования, материальные и тепловые балансы процесса, технологический расчет основного аппарата и вспомогательного оборудования.

### **Темы групповых занятий по курсовому проектированию**

1. Уточнение задания и исходных данных по проекту, составление графика выполнения проекта.
2. Выбор конструкции основного аппарата и режимов его работы.
3. Критерии оптимизации технических решений. Выбор проектного варианта.
4. Методики технологического расчета оборудования.
5. Чертежи общего вида и технологической схемы.
6. Правила оформления расчетно-пояснительной записки.
7. Защита курсового проекта.

### **График выполнения курсовых проектов с указанием объемов работ**

1	Описание основного аппарата и вспомогательного оборудования	2 недели	12 %	Текущий контроль
2	Обоснование и описание установки	2 недели	13 %	
3	Подробный расчет основного аппарата	4 недели	25 %	
4	Подробный расчет и подбор вспомогательного оборудования	3 недели	18 %	
5	Оформление пояснительной записки	1 неделя	7 %	
6	Выполнение графической части	4 недели	25 %	
7	Защита проекта	1 неделя		

## Перечень основной литературы

1. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г.Касаткин. – М.: Альянс, 2004. – 751 с.
2. Гапонов, К.П. Процессы и аппараты микробиологических производств / К.П.Гапонов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 240 с.
3. Федосеев, К.Г. Процессы и аппараты биотехнологии в химико-фармацевтической промышленности / К.Г.Федосеев. – М.: Медицина, 1969. – 200 с.
4. Бортников, И.И. Машины и аппараты микробиологических производств: Учебное пособие для вузов./ И.И.Бортников, А.М Босенко. – Минск: Высшая школа, 1982. – 288 с.
5. Стабников, В.Н. Процессы и аппараты пищевых производств / В.Н.Стабников, В.Д.Попов, В.М.Лысянский. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1985. – 623 с.
6. Дытнерский, Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. В 2-х кн. / Ю.И.Дытнерский. – М.: Химия, 2002. – 400 + 368 с.
7. Гельперин, Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии / Н.И.Гельперин. – М.: Химия, 1981. – 812 с.
8. Дытнерский, Ю.И. Обратный осмос и ультрафильтрация / Ю.И.Дытнерский. – М.: Химия, 1978. – 352 с.
9. Голубев, Л.Г. Сушка в химико-фармацевтической промышленности / Л.Г.Голубев, Б.С.Сажин, Е.Р.Валашек. М.: Медицина, 1978. – 272 с.
10. 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.
11. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию. Под ред. Ю.И.Дытнерского. – М.: Химия, 1991. – 496 с.
12. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи) / П.Г.Романков, В.Ф.Фролов и др. – С.-П.: Химия, 1993. – 496 с.
13. Маркаў, У.А. Працэсы і апараты хімічнай тэхналогіі. Практыкум / У.А.Маркаў, С.К.Пратасаў, А.А.Баравік. – Мн.: БГТУ, 2008. – 208 с.
14. СТП 002-2007. Проекты (работы) курсовые. Требования и порядок подготовки, представление к защите и защита. – Мн.: БГТУ, 2007. – 40 с.
15. Калішук Дз.Р. Працэсы і апараты хімічнай тэхналогіі: Метадычныя ўказанні да курсавой работы па аднайменнай дысцыпліне для студэнтаў вочнай і завочнай форм навучання спецыяльнасці Э.01.03.00 / Дз.Р.Калішук. – Мн.: БДТУ, 1998. – 40 с.

16. Левданский, Э.И. Расчет промышленных установок для сушки сыпучих и кусковых материалов: Учебное пособие / Э.И.Левданский. – Мн.: БТИ им. С.М.Кирова, 1992. – 83с.

### Перечень дополнительной литературы

17. Соколов, В.Н. Аппаратура микробиологической промышленности / В.Н.Соколов, М.А.Яблокова. – Л.:Машиностроение, 1988. – 278 с.

18. Федосеев, К.Г. Физические основы и аппаратура биологически активных веществ / К.Г.Федосеев. – М.: Медицина, 1977. – 304 с.

19. Аиба, Ш. Биохимическая технология и аппаратура / Ш.Аиба, А.Хемфри, Н.Миллис. – М.: Пищевая промышленность, 1975. – 287 с.

20. Бирюков, В.В. Основы промышленной биотехнологии / В.В.Бирюков. – М.: Пищевая промышленность, 1999. – 358 с.

21. Елинов, Н.П. Биотехнология / Н.П.Елинов. – СПб.: Наука, 1995. – 600 с.

22. Кантере, В.М. Теоретические основы технологии микробиологических производств / В.М.Кантере. – М.: Агропромиздат, 1990. 268 с.

23. Горбатюк, В.И. Процессы и аппараты пищевых производств. / В.И. Горбатюк – М.: Колос, 1999. – 333 с.

24. Кавецкий, Г.Д. Процессы и аппараты пищевой технологии. / Г.Д.Кавецкий, Б.В.Васильев. – М.: Колос, 2000. – 551 с.

25. Малахов, Н.Н. Процессы и аппараты пищевых производств. / Н.Н.Малахов [и др.] – Орел: ОГТУ, 2001. – 687 с.

26. 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.

27. Игнатович Э. Химическая техника. Процессы и аппараты. Пер. с нем. / Э.Игнатович. – М.: Техносфера, 2007. – 656 с.

28. Закгейм А.Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов. – М.: Химия, 1982.

29. Масштабный переход в химической технологии (под ред. Розена А.М.). – М.: Химия, 1980.

30. Романков П.Г., Курочкина М.И. Гидромеханические процессы химической технологии. – Л.: Химия, 1982.

31. Жужиков В.А. Фильтрование. – М.: Химия, 1980.

32. Швыдкий В.С., Ладыгичев М.Г. Очистка газов: Справочное издание / В.С. Швыдкий, М.Г. Ладыгичев. – М.: Теплоэнергетик, 2005. – 640 с.

33. Романков П.Г., Фролов В.Ф. Теплообменные процессы химической технологии. – Л.: Химия, 1982.

34. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справочник / Под общ. ред. чл.-корр. РАН А.В. Клименко и проф. В.М. Зорина. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 632 с. – (Теплоэнергетика и теплотехника; Кн. 4).
35. Справочник по теплообменникам. Т. 1 и 2. – М.: Энергоиздат, 1987.
36. Таубман Е.И. Выпаривание. – М.: Химия, 1982.
37. Шервуд Т., Пигфорд Р.Л., Уилки У. Массопередача. – М.: Химия, 1982.
38. Кафаров В.В. Основы массопередачи. – М.: Высшая школа, 1979.
39. Рамм В.М. Абсорбция газов. – М.: Химия, 1975.
40. Александров И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. – М.: Химия, 1978.
41. Романков П.Г. и др. Массообменные процессы химической технологии (системы с твердой фазой). – Л.: Химия, 1975.
42. Ягодин Г.А., Каган С.З. Основы жидкостной экстракции. – М.: Химия, 1981.
43. Гельперин Н.П., Носов Г.А. Основы техники кристаллизации расплавов. – М.: Химия, 1976.
44. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. – М.: Химия, 1984.
45. Серпионова Е.Н. Промышленная адсорбция газов и паров. – М.: Высшая школа, 1969.
46. Сенявик М.М. Ионный обмен в технологии и анализе неорганических веществ. – М.: Химия, 1980.
47. Сажин Б.С. Основы техники сушки. – М.: Химия, 1984.
48. Фролов В.Ф. Моделирование сушки дисперсных материалов. – Л.: Химия, 1986.
49. Дытнерский Ю.И. Баромембранные процессы. – М.: Химия, 1986.
50. Хванг С.-Т., Каммермейер К. Мембранные процессы разделения. – М.: Химия, 1981.
51. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии / И.Л.Иоффе. – Л.: Химия, 1991. – 352 с.
52. Кувшинский М.Н. Курсовое проектирование по предмету «Процессы и аппараты химической промышленности» / М.Н.Кувшинский, А.П.Соболева. – М.: Высшая школа, 1980. – 223 с.
53. Альперт Л.З. Основы проектирования химических установок. – М.: Высш. шк., 1989. – 304 с.
54. Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования: Справочник. В 3-х т. / А.С.Тимонин. – Калуга: Изд-во Н.Бочкаревой, 2002. – 852 + 1028 + 968 с.
55. Лацинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник / А.А.Лацинский. – М.: Машиностроение, 1981. – 382 с.

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

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

Учебное издание

**ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПРОИЗВОДСТВА  
МЕДИЦИНСКИХ ПРЕПАРАТОВ**

Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине  
для специальности 1-36 07 01

Машины и аппараты химических производств и предприятий  
строительных материалов  
специализации 1-36 07 01 06

Машины и аппараты фармацевтической промышленности

Составители:

Павлечко Владимир Никифорович

Мисюля Дмитрий Иванович

Калишук Дмитрий Григорьевич

Ответственный за выпуск Д.Г.Калишук

Подписано к печати 10.12.2013. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>

Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.

Усл.печ.л. 1,1. Уч.-изд.л. 1,1.

Тираж 8 экз. Заказ .

Учреждение образования

«Белорусский государственный технологический университет».

220006. Минск, Свердлова, 13а.

ЛИ № 0230/0133255 от 30.04.2004.

Отпечатано в Центре издательско-полиграфических  
и информационных технологий учреждения образования  
«Белорусский государственный технологический университет»

220006. Минск, Свердлова, 13а.

ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009

ЛП № 02330/0150477 от 16.01.2009