

ОНТҮСТИК-ҚАЗАҚСТАН MEDISINA АКАДЕМИЯСЫ «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ	 SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра «Инженерные дисциплины»	76-11 Стр. 1 из 41
Лекции по дисциплине «Процессы и аппараты химико-фармацевтического производства-1»	

ЛЕКЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС

Дисциплина: **«Процессы и аппараты химико-фармацевтического производства-1»**

Код дисциплины: **РАНFP-1 2201**

Название ОП : **6В0720100 «Технология фармацевтических производств»**

Объем учебных часов /(кредитов): **180 часов /(6 кредитов)**

Курс и семестр изучения: **2 курс, 3 семестр**

Объем лекций: **10 часов**

Шымкент, 2025

Лекционный комплекс разработан в соответствии с рабочей учебной программой дисциплины (силлабусом) «Процессы и аппараты химико-фармацевтического производства-1» и обсуждена заседании кафедры

Протокол № 11 05.06.2025г.

Зав.кафедрой



Орымбетова Г.Э.

Лекция 1 Введение. Предмет и задачи курса. Классификация основных процессов фармацевтического производства. Кинетические закономерности основных процессов.

Цель: Дать общее представление о предмете и задачах курса, раскрыть сущность и значение основных технологических процессов фармацевтического производства, их классификацию, а также изучить базовые кинетические закономерности, лежащие в основе этих процессов.

Тезисы лекции:

- **Знакомство с предметом и содержанием курса**, его значением для фармацевтической практики и промышленности.
- **Рассмотреть классификацию технологических процессов** в фармацевтическом производстве по различным признакам (по агрегатному состоянию, по характеру, по стадии производства).
- **Изучить основные кинетические закономерности**, применяемые при анализе процессов, таких как растворение, сушка, диффузия и химические реакции.
- **Сформировать понимание взаимосвязи между скоростью процессов и качеством продукции**, устойчивостью и воспроизводимостью технологии.
- **Подготовить основу для дальнейшего изучения конкретных технологических операций**, включая их теоретическое обоснование и практическое применение в производстве лекарственных средств.

Тезисы

Введение

Фармацевтическое производство — это отрасль, занимающаяся разработкой, масштабированием и промышленным выпуском лекарственных средств. Оно является важнейшим элементом системы здравоохранения и требует высокой точности, строгого соблюдения стандартов качества, а также глубокого понимания процессов, происходящих при производстве препаратов.

Современное фармацевтическое производство базируется не только на знаниях химии и технологии, но и на принципах инженерии, физики, биотехнологии и кинетики процессов. Эффективность и стабильность фармацевтических процессов напрямую влияют на качество конечного продукта, его безопасность и терапевтическую эффективность.

Предмет и задачи курса

Предмет курса

Предметом курса является изучение физико-химических и технологических процессов, лежащих в основе производства лекарственных средств, а также закономерностей, которые определяют скорость и эффективность этих процессов.

Задачи курса:

- Дать представление об основных производственных операциях, используемых в фармацевтической промышленности.
- Изучить принципы классификации технологических процессов.

ОНТҮСТИК-ҚАЗАҚСТАН MEDISINA АКАДЕМИЯСЫ «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ	 SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра «Инженерные дисциплины»	76-11 Стр. 4 из 41
Лекции по дисциплине «Процессы и аппараты химико-фармацевтического производства-1»	

- Рассмотреть физико-химические основы основных стадий производства.
- Понять кинетические закономерности, лежащие в основе процессов смешивания, растворения, сушки, фильтрации и других операций.
- Научиться анализировать и оптимизировать технологические процессы для повышения качества и экономичности производства.

Классификация основных процессов фармацевтического производства

Фармацевтические процессы можно классифицировать по нескольким признакам:

1. *По агрегатному состоянию веществ:*
 - Газовые (например, стерилизация паром)
 - Жидкостные (растворение, экстракция)
 - Твёрдотельные (измельчение, гранулирование)
 - Многофазные (сuspензии, эмульсии)
2. *По характеру процессов:*
 - **Физические процессы** — измельчение, смешивание, сушка.
 - **Химические процессы** — синтез активных фармацевтических ингредиентов (АФИ).
 - **Физико-химические процессы** — адсорбция, экстракция, растворение.
 - **Биотехнологические процессы** — ферментация, культивирование клеток.
3. *По функции в производственном цикле:*
 - **Подготовительные** — очистка, измельчение, просеивание.
 - **Основные** — синтез, формовка, гранулирование.
 - **Вспомогательные** — фасовка, упаковка, контроль качества.

4. Кинетические закономерности основных процессов

Кинетика технологических процессов — это наука, изучающая скорость и механизмы протекания процессов. Понимание кинетики необходимо для управления процессами, масштабирования и повышения производительности.

Примеры кинетических закономерностей:

1. Растворение

Описывается уравнением Нойеса-Уитни:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{DA(C_s - C)}{h}$$

Где:

- dC/dt — скорость растворения,
- D — коэффициент диффузии,
- A — площадь поверхности,
- C_s — насыщенная концентрация,
- C — текущая концентрация,
- h — толщина диффузного слоя.

Сушка

Кинетика сушки описывается периодами:

- **Период постоянной скорости** — удаление влаги с поверхности.
- **Период падающей скорости** — удаление влаги изнутри частицы.

Диффузия

Описывается законом Фика:

$$J = -D \frac{dC}{dx}$$

Где:

- J — плотность потока вещества,
- D — коэффициент диффузии,
- dC/dx — градиент концентрации.

Значение кинетики в производстве

- Позволяет прогнозировать поведение вещества на разных стадиях производства.
- Упрощает выбор оборудования и условий процесса.
- Снижает потери сырья и увеличивает стабильность продукта.
- Помогает масштабировать процессы от лабораторного уровня к промышленному.

Заключение

Понимание структуры, классификации и кинетики процессов в фармацевтическом производстве позволяет обеспечить высокий уровень качества лекарственных средств. Данный курс нацелен на формирование инженерно-технологического мышления, необходимого для успешной работы в области фармацевтической технологии.

Контрольные вопросы

- 1 В чем заключается предмет изучения курса «Основы процессов фармацевтического производства»?
- 2 Какие задачи ставятся перед данным курсом?
- 3 Какие существуют классификации технологических процессов в фармацевтическом производстве?
- 4 В чем различие между физическими, химическими и физико-химическими процессами?
- 5 Приведите примеры процессов, относящихся к подготовительным, основным и вспомогательным стадиям производства.
- 6 Что такое кинетика технологического процесса и зачем её изучают?
- 7 Какие основные кинетические закономерности лежат в основе процессов растворения?
- 8 Как описывается процесс диффузии с точки зрения кинетики?
- 9 В чём заключается различие между периодом постоянной и падающей скорости при сушке?
- 10 Почему важно учитывать кинетические характеристики при масштабировании фармацевтических процессов?

Литература

- 1) Мантлер С. Н. Химиялық технологияның процестері және аппараттары : оқулық / С. Н. Мантлер, Ф. М. Жуманазарова. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256
- 2) Мантлер С. Н. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / Г. М. Жуманазарова. - МОН РК. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256 с

ОНТҮСТИК ҚАЗАҚСТАН MEDISINA АКАДЕМИЯСЫ АҚ «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ	 SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра «Инженерные дисциплины»	76-11 Стр. 6 из 41
Лекции по дисциплине «Процессы и аппараты химико-фармацевтического производства-1»	

3) Арыстанбаев К. Е. Системы управления химико - технологическими процессами : учебное пособие / К. Е. Арыстанбаев, А. Б. Жумабекова, А. А. Умаров. - Алматы : Эверо, 2020. - 128 с

4) Орымбетов Ә.М. Химия – фармацевтикалық өндірітін процесстері мен аппаратары. Оқулық Шымкент. ОҚМА АҚ. 2023. - 370 б.

5) Химия өндірісінің негізгі процесстері мен аппараттары: Зертханалық практикум: оқуқұралы / Ш. Ш. Нұрсейітов. - Алматы :Эверо, 2014. - 140 бет

Электронные ресурсы

1. Электронная библиотека ЮКМА - <https://e-lib.skma.edu.kz/genres>
2. Республикаанская межвузовская электронная библиотека (РМЭБ) – <http://rmebrk.kz/>
3. Цифровая библиотека «Aknurpress» - <https://www.aknurpress.kz/>
4. Электронная библиотека «Эпиграф» - <http://www.elib.kz/>
5. Эпиграф - портал мультимедийных учебников <https://mbook.kz/ru/index/>
6. ЭБС IPR SMART <https://www.iprbookshop.ru/auth>
7. информационно-правовая система «Зан» - <https://zan.kz/ru>
8. Medline Ultimate EBSCO
9. eBook Medical Collection EBSCO
10. Scopus - <https://www.scopus.com/>

Электронные учебники

1) Фармацевттік өндірістің процесстері және аппараттары:дәріс кешені.-Ш.,2023 https://base.ukgfa.kz/?wpfb_dl=29955

2) Процессы и аппараты химико-фармацевтического производства: лекц. комплекс.-Ш.,2023 https://base.ukgfa.kz/?wpfb_dl=29966

3) Арыстанбаев, К. Е. Системы управления химико-фармацевтическими процессами [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов по специальности "Технология фармацевтического производства". - Электрон. текстовые дан.(6,85 МБ). - Шымкент : ОҚМА, 2018. - 109 с. әл

4) Химия өндірістерінің процесстері мен аппараттары: Оқу құралы. / Ш.Ш. Нұрсейитов, Қ.Ж. Керімқұлов, Е.Т. Шертаев; Казак технология және бизнес университеті. - Астана: Дәме, 2014. - 1776. РМЭБ/ <http://rmebrk.kz/book/11726915>

6) Арыстанбаев, К. Е. Химия - технологиялық үдерістерді басқару жүйесі [Электронный ресурс] : оқу құралы / Арыстанбаев К. Е., Мамбаева А. М. . - Электрон. текстовые дан. (3, 205 КБ). - Шымкент : ОҚМА, 2022.

7) Химиялық процесстер технологиясы: Оқулық. / Ж.А. Моулжин, М. Макки, А.Е. Ван Диепен, ағыл. тіл. ауд. Ж. Сүйесінова т.б.; ҚР Білім және ғылым министрлігі, - 2 басылым - Алматы, 2016. - 568б. <http://rmebrk.kz/book/1165064>

8) Бородулин, Д. М. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / Д. М. Бородулин, В. Н. Иванец. — Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2007. — 168 с. — ISBN 978-5-89289-435-7. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/14388.html>

9) Процессы и аппараты химической технологии : методические указания к самостоятельной работе / составители А. Ш. Бикбулатов [и др.]. — Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2014. — 72 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL:

<https://www.iprbookshop.ru/62571>

Лекция 2 Основы гидравлики. Гидростатика. Гидродинамика. Уравнение непрерывности (сплошности) потока. Дифференциальное уравнение движения Эйлера. Дифференциальное уравнение движения Навье-Стокса. Уравнение Бернулли.

Цель: Сформировать у обучающихся фундаментальные знания об основных законах и уравнениях, описывающих поведение жидкостей в состоянии покоя и в движении, а также научить применять эти знания для анализа и расчета технологических процессов, связанных с транспортировкой и обработкой жидких сред в фармацевтическом производстве.

Тезисы лекции:

1. Ознакомить с понятием гидравлики, ее ролью и применением в фармацевтической технологии.
2. Изучить основные законы **гидростатики**, включая закон Паскаля, закон гидростатического давления и условия равновесия жидкости.
3. Дать представление о типах потоков в **гидродинамике** и их характеристиках (установившийся/неустановившийся, ламинарный/турбулентный).
4. Рассмотреть **уравнение непрерывности (сплошности)** потока и его значение для сохранения массы при движении жидкости.
5. Изучить **уравнение Эйлера** как модель движения идеальной жидкости.
6. Познакомиться с **уравнением Навье–Стокса** для описания движения реальной вязкой жидкости и обсудить его применение в инженерной практике.
7. Освоить **уравнение Бернулли** и научиться применять его для анализа энергетических характеристик потока жидкости.
8. Развить умения использовать полученные знания для решения типовых задач, связанных с перемещением жидкостей в фармацевтическом оборудовании (трубопроводы, насосы, дозаторы и др.).

Тезисы

Введение в гидравлику

Гидравлика — это наука, изучающая законы равновесия и движения жидкостей, а также их взаимодействие с твердыми телами и окружающей средой.

Гидравлика делится на два основных раздела:

- **Гидростатика** — изучает жидкости в состоянии покоя.
- **Гидродинамика** — исследует жидкости в движении.

Применение гидравлики в фармацевтической промышленности охватывает:

- перемещение жидкостей по трубопроводам;
- дозирование;
- фильтрацию;
- охлаждение и нагрев;
- процессы экстракции, растворения и др.

Гидростатика

Основные понятия:

- **Давление (p)** — сила, действующая перпендикулярно к поверхности на единицу площади:

$$P = F/A$$

Гидростатическое давление в жидкости:

$$P = \rho gh$$

где: ρ — плотность жидкости,
 g — ускорение свободного падения,
 h — глубина (высота столба жидкости).

Принцип Паскаля: давление, приложенное к жидкости, передаётся без изменений во все точки объема.

Закон Архимеда: на погруженное в жидкость тело действует выталкивающая сила, равная весу вытесненной жидкости.

Гидродинамика

Гидродинамика изучает движение жидкости. Она делится на:

- **Идеальную** гидродинамику (без вязкости, турбулентности);
- **Реальную** гидродинамику (с учётом вязкости и сопротивлений).

Виды потоков:

- **Установившийся поток** — параметры не зависят от времени;
- **Неустановившийся поток** — параметры зависят от времени;
- **Ламинарный** — плавный, послойный;
- **Турбулентный** — хаотичный, вихревой.

Уравнение непрерывности потока

Уравнение непрерывности (или уравнение сплошности) выражает закон сохранения массы.

Для несжимаемой жидкости:

$$A_1v_1 = A_2v_2$$

где: A — площадь поперечного сечения потока, v — средняя скорость жидкости.

Или в дифференциальной форме:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0$$

Дифференциальное уравнение движения Эйлера

Описывает движение **идеальной жидкости** (без вязкости):

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \vec{g}$$

где:

- \vec{v} — вектор скорости,
- p — давление,
- ρ — плотность,
- \vec{g} — ускорение силы тяжести.

Это уравнение применяется к быстропротекающим процессам, где вязкость жидкости мала.

Уравнение Навье–Стокса

Уточнение уравнения Эйлера для реальной (вязкой) жидкости:

$$\frac{d\vec{v}}{dt} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \vec{v} + \vec{g}$$

где: ν — кинематическая вязкость (или μ/ρ или $\rho\mu/\rho$, где μ — динамическая вязкость), $\nabla^2 \vec{v}$ — оператор Лапласа, описывает внутреннее сопротивление потоку.

Это основное уравнение гидродинамики, однако его аналитическое решение существует только в частных случаях — чаще применяется численно.

Уравнение Бернуlli

Выводится из уравнения Эйлера при стационарном течении вдоль линии тока. Оно показывает, что полная энергия жидкости постоянна вдоль потока:

$$\frac{v^2}{2} + \frac{p}{\rho} + gh = \text{const}$$

где: $v^2/2$ — кинетическая энергия (скоростной напор), p — потенциальная энергия давления, gh — потенциальная энергия положения.

Применение: уравнение Бернуlli используется для расчёта потоков в трубах, сужениях (например, в трубке Вентури), при анализе дозаторов, насосов и фильтрационных систем.

Заключение

Понимание основ гидравлики — ключевой компонент инженерного подхода в фармацевтической технологии. Оно необходимо при проектировании и эксплуатации оборудования, оптимизации потоков жидкости и выборе условий для технологических процессов.

Контрольные вопросы

1. Что изучает гидравлика и каково её значение в фармацевтическом производстве?
2. Какие законы лежат в основе гидростатики?
3. Как определяется давление жидкости на заданной глубине?
4. Что такое сообщающиеся сосуды и в каких условиях уровни жидкости в них совпадают?
5. Какие виды течений жидкости различают в гидродинамике?
6. В чём разница между ламинарным и турбулентным потоками?

7. Сформулируйте уравнение непрерывности потока и объясните его физический смысл.
8. Как формулируется уравнение Эйлера и для каких условий оно применяется?
9. Чем уравнение Навье–Стокса отличается от уравнения Эйлера?
10. Что описывает уравнение Бернулли? Какие виды энергии в нём учитываются?
11. Какие ограничения существуют при применении уравнения Бернулли?
12. Приведите примеры применения уравнения Бернулли в фармацевтической технологии.

Литература

- 1) Мантлер С. Н. Химиялық технологияның процестері және аппараттары : оқулық / С. Н. Мантлер, Ф. М. Жуманазарова. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256
- 2) Мантлер С. Н. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / ,Г. М. Жуманазарова. – МОН РК. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256 с
- 3) Арыстанбаев К. Е. Системы управления химико - технологическими процессами : учебное пособие / К. Е. Арыстанбаев, А. Б. Жумабекова, А. А. Умаров. - Алматы : Эверо, 2020. - 128 с
- 4) Орымбетов Э.М. Химия – фармацевтикалық өндірітін процесстері мен аппараттары. Оқулық Шымкент. ОҚМА АҚ. 2023. - 370 б.
- 5) Химия өндірісінің негізгі процестері мен аппараттары: Зертханалық практикум: оқуқұралы / Ш. Ш. Нұрсейітов. - Алматы :Эверо, 2014. - 140 бет

Электронные ресурсы

11. Электронная библиотека ЮКМА - <https://e-lib.skma.edu.kz/genres>
12. Республиканская межвузовская электронная библиотека (РМЭБ) – <http://tmebrk.kz/>
13. Цифровая библиотека «Aknurpress» - <https://www.aknurpress.kz/>
14. Электронная библиотека «Эпиграф» - <http://www.elib.kz/>
15. Эпиграф - портал мультимедийных учебников <https://mbook.kz/ru/index/>
16. ЭБС IPR SMART <https://www.iprbookshop.ru/auth>
17. информационно-правовая система «Зан» - <https://zan.kz/ru>
18. Medline Ultimate EBSCO
19. eBook Medical Collection EBSCO
20. Scopus - <https://www.scopus.com/>

Электронные учебники

- 1) Фармацевттік өндірістің процестері және аппараттары:дәріс кешені.-Ш.,2023 https://base.ukgfa.kz/?wpfb_dl=29955
- 2) Процессы и аппараты химико-фармацевтического производства: лекц. комплекс.-Ш.,2023 https://base.ukgfa.kz/?wpfb_dl=29966
- 3) Арыстанбаев, К. Е. Системы управления химико-фармацевтическими процессами [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов по специальности "Технология фармацевтического производства". - Электрон. текстовые дан.(6,85 МБ). - Шымкент : ОҚМА, 2018. - 109 с. эл

- 4) Химия өндірістерінің процестері мен аппараттары: Оку құралы. / Ш.Ш. Нұрсейитов, Қ.Ж. Керімкулов, Е.Т. Шертаев; Казак технология және бизнес университеті. - Астана: Дәме, 2014. - 1776. РМЭБ/ <http://rmebrk.kz/book/11726915>)
- 6) Арыстанбаев, К. Е. Химия - технологиялық үдерістерді басқару жүйесі [Электронный ресурс] : оқу құралы / Арыстанбаев К. Е., Мамбаева А. М. . - Электрон. текстовые дан. (3, 205 КБ). - Шымкент : ОҚМА, 2022.
- 7) Химиялық процестер технологиясы: Оқулық. / Ж.А. Моулжин, М. Макки, А.Е. Ван Диепен, ағыл. тіл. ауд. Ж. Сүйесінова т.б.; ҚР Білім және ғылым министрлігі, - 2 басылым - Алматы, 2016. - 568б. <http://rmebrk.kz/book/1165064>
- 8) Бородулин, Д. М. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / Д. М. Бородулин, В. Н. Иванец. — Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2007. — 168 с. — ISBN 978-5-89289-435-7. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/14388.html>
- 9) Процессы и аппараты химической технологии : методические указания к самостоятельной работе / составители А. Ш. Бикбулатов [и др.]. — Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2014. — 72 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/62571>

Лекция 3 Основы теории подобия и анализа размерностей. Критерий Рейнольдса. Гидродинамическое сопротивление в трубопроводах.

Цель: Сформировать у обучающихся базовые знания о методах теории подобия и анализа размерностей, научить использовать безразмерные критерии (в частности, критерий Рейнольдса) для анализа режимов течения жидкости и расчёта гидродинамических сопротивлений в трубопроводах, применяемых в фармацевтических технологических системах.

Тезисы лекции:

- Познакомить с основами **теории подобия** и ее значением для моделирования и масштабирования технологических процессов.
- Изучить **принципы анализа размерностей** и правила построения безразмерных групп с использованием метода Бекингема (π -теорема).
- Дать определение **критерию Рейнольдса**, рассмотреть его физическую сущность и влияние на режим течения жидкости (ламинарный, переходный, турбулентный).
- Рассмотреть особенности **движения жидкости в трубопроводах**, виды потерь давления и источники гидродинамического сопротивления.
- Изучить формулы расчета **потерь давления на трение** и влияние числа Рейнольдса и шероховатости на коэффициент сопротивления.
- Показать практическое значение этих знаний при **проектировании и эксплуатации трубопроводных систем** в фармацевтической технологии (насосы, фильтры, дозаторы и т. д.).

Тезисы

Введение

Во многих инженерных задачах, особенно при моделировании и масштабировании процессов, важно не только решить уравнение движения, но и понять, какие параметры наиболее существенно влияют на течение жидкости. Для этого применяются **теория подобия и анализ размерностей**. Эти методы позволяют переходить от лабораторных моделей к промышленным установкам и делать выводы о поведении систем без полного решения уравнений гидродинамики.

Основы теории подобия

Теория подобия — это метод изучения физических явлений, основанный на сравнении моделей и реальных объектов с сохранением основных характеристик процесса. Она используется в гидравлике, аэродинамике, теплообмене, механике и других науках.

Виды подобия:

- **Геометрическое подобие** — сохраняется форма объекта (отношения длины, диаметра и т. д.).
- **Кинематическое подобие** — подобие движения, одинаковые безразмерные траектории.
- **Динамическое подобие** — силы, действующие в системе, находятся в одинаковом соотношении.

Для достижения динамического подобия необходимо, чтобы **безразмерные критерии (числа)** в модели и в натурной установке были равны.

Анализ размерностей

Анализ размерностей позволяет сократить количество переменных в задаче и перейти к **безразмерным группам (критериям)**. Это упрощает моделирование и обобщение экспериментальных данных.

Метод Бекингема (π -теорема):

Если в задаче участвует n переменных, зависящих от k основных размерностей (например, длина $[L]$, время $[T]$, масса $[M]$), то система может быть описана с помощью $n-k$ **безразмерных критериев (π -групп)**.

Критерий Рейнольдса (Re)

Критерий Рейнольдса — это один из важнейших безразмерных параметров гидродинамики, характеризующий соотношение инерционных и вязких сил в потоке жидкости.

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{v D}{\nu}$$

где:

- ρ — плотность жидкости,
- v — скорость потока,
- D — характерный размер (например, диаметр трубы),
- μ — динамическая вязкость,
- ν — кинематическая вязкость.

Значение Re :

- $Re < 2300$ — **ламинарное течение**
- $Re > 4000$ — **турбулентное течение**
- $2300 < Re < 4000$ — **переходная зона**

Этот критерий критически важен при расчёте сопротивлений в трубопроводах, определении режима течения и выборе оборудования.

Гидродинамическое сопротивление в трубопроводах

Потери напора:

При движении жидкости по трубопроводу возникают **потери давления (напора)** из-за:

- трения жидкости о стенки (основная часть),
- местных сопротивлений (отводы, клапаны, сужения).

Общие потери можно выразить как:

$$h = hf + hm$$

где: hf — потери на трение, hm — местные потери.

Потери на трение (формула Дарси–Вейсбаха):

$$hf = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

где: λ — коэффициент гидравлического сопротивления, L — длина трубы, D — диаметр трубы, v — скорость потока, g — ускорение свободного падения.

Зависимость λ от Re :

Для ламинарного потока:

$$\lambda = 64/Re$$

Для турбулентного потока: λ зависит от шероховатости стенок и определяется по эмпирическим формулам (например, формула Коулброка–Уайта) или таблице Муди.

Применение в фармацевтической технологии

- При проектировании жидкостных дозаторов, насосов, фильтров важно учитывать режим потока (Re).
- Теория подобия позволяет масштабировать процессы от лабораторных установок к промышленным линиям.
- Анализ сопротивлений даёт возможность минимизировать потери энергии и повысить эффективность жидкостных процессов.

Заключение

Теория подобия и анализ размерностей — важные инструменты инженера-технолога, позволяющие:

- анализировать процессы без полного математического моделирования;
- выявлять ключевые параметры, влияющие на эффективность;
- правильно масштабировать производственные процессы;
- снижать потери давления и энергии в жидкостных системах.

Контрольные вопросы

1. Что такое теория подобия и какие виды подобия существуют?
2. В чем заключается цель анализа размерностей?
3. В чём суть π -теоремы (метода Бекингема) и как она применяется?
4. Что такое безразмерный критерий и зачем он нужен в инженерных расчётах?
5. Как определяется критерий Рейнольдса (Re) и какие физические величины он включает?
6. Какой режим течения соответствует значениям $Re < 2300$, $Re > 4000$ и в промежутке?

7. Почему важно учитывать число Рейнольдса при проектировании трубопроводов?
8. Что такое гидродинамическое сопротивление и какие виды потерь возникают при течении жидкости по трубам?
9. Как рассчитываются потери давления на трение в трубопроводах?
10. Как зависит коэффициент гидравлического сопротивления λ от режима течения (Re)?
11. Что такое диаграмма Муди и как она используется?
12. Как теория подобия помогает масштабировать экспериментальные установки для промышленного применения?

Литература

- 1) Мантлер С. Н. Химиялық технологияның процестері және аппараттары : оқулық / С. Н. Мантлер, Ф. М. Жуманазарова. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256
- 2) Мантлер С. Н. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / ,Г. М. Жуманазарова. – МОН РК. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256 с
- 3) Арыстанбаев К. Е. Системы управления химико - технологическими процессами : учебное пособие / К. Е. Арыстанбаев, А. Б. Жумабекова, А. А. Умаров. - Алматы : Эверо, 2020. - 128 с
- 4) Орымбетов Ә.М. Химия – фармацевтикалық өндірітің процестері мен аппараттары. Оқулық Шымкент. ОҚМА АҚ. 2023. - 370 б.
- 5) Химия өндірісінің негізгі процестері мен аппараттары: Зертханалық практикум: оқуқұралы / Ш. Ш. Нұрсейітов. - Алматы :Эверо, 2014. - 140 бет

Электронные ресурсы

21. Электронная библиотека ЮКМА - <https://e-lib.skma.edu.kz/genres>
22. Республикаанская межвузовская электронная библиотека (РМЭБ) – <http://rmebrk.kz/>
23. Цифровая библиотека «Aknurpress» - <https://www.aknurpress.kz/>
24. Электронная библиотека «Эпиграф» - <http://www.elib.kz/>
25. Эпиграф - портал мультимедийных учебников <https://mbook.kz/ru/index/>
26. ЭБС IPR SMART <https://www.iprbookshop.ru/auth>
27. информационно-правовая система «Зан» - <https://zan.kz/ru>
28. Medline Ultimate EBSCO
29. eBook Medical Collection EBSCO
30. Scopus - <https://www.scopus.com/>

Электронные учебники

- 1) Фармацевттік өндірістің процестері және аппараттары:дәріс кешені.-Ш.,2023 https://base.ukgfa.kz/?wpfb_dl=29955
- 2) Процессы и аппараты химико-фармацевтического производства: лекц. комплекс.-Ш.,2023 https://base.ukgfa.kz/?wpfb_dl=29966
- 3) Арыстанбаев, К. Е. Системы управления химико-фармацевтическими процессами [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов по специальности "Технология фармацевтического производства". - Электрон. текстовые дан.(6,85 МБ). - Шымкент : ОҚМА, 2018. - 109 с. эл

- 4) Химия өндірістерінің процестері мен аппараттары: Оку құралы. / Ш.Ш. Нұрсейитов, Қ.Ж. Керімкулов, Е.Т. Шертаев; Казақ технология және бизнес университеті. - Астана: Дәме, 2014. - 1776. РМЭБ/ <http://rmebrk.kz/book/11726915>)
- 6) Арыстанбаев, К. Е. Химия - технологиялық үдерістерді басқару жүйесі [Электронный ресурс] : оқу құралы / Арыстанбаев К. Е., Мамбаева А. М. . - Электрон. текстовые дан. (3, 205 КБ). - Шымкент : ОҚМА, 2022.
- 7) Химиялық процестер технологиясы: Оқулық. / Ж.А. Моулжин, М. Макки, А.Е. Ван Диепен, ағыл. тіл. ауд. Ж. Сүйесінова т.б.; ҚР Білім және ғылым министрлігі, - 2 басылым - Алматы, 2016. - 568б. <http://rmebrk.kz/book/1165064>
- 8) Бородулин, Д. М. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / Д. М. Бородулин, В. Н. Иванец. — Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2007. — 168 с. — ISBN 978-5-89289-435-7. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/14388.html>
- 9) Процессы и аппараты химической технологии : методические указания к самостоятельной работе / составители А. Ш. Бикбулатов [и др.]. — Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2014. — 72 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/62571>

Лекция 4 Гидродинамика кипящих (псевдоожиженных) зернистых слоев

Цель: Сформировать у обучающихся теоретические знания и практическое понимание принципов работы кипящих (псевдоожиженных) зернистых слоёв, изучить их гидродинамические особенности, режимы работы и значение в фармацевтических и химико-технологических процессах.

Тезисы лекции:

- Познакомить с понятием кипящего (псевдоожиженного) слоя и его физической природой.
- Рассмотреть условия возникновения псевдоожижения и определить критическую (минимальную) скорость псевдоожижения.
- Изучить основные гидродинамические режимы в псевдоожиженном слое (пузырьковый, турбулентный, пневмотранспорт и др.).
- Объяснить особенности тепло- и массообмена в кипящем слое и их отличие от обычных слоёв.
- Проанализировать преимущества и недостатки использования псевдоожиженного слоя в промышленных установках.
- Рассмотреть практическое применение кипящих слоёв в фармацевтической технологии (сушка, покрытие гранул, реакторы и т.д.).

Тезисы

Введение

Кипящие или псевдоожиженные зернистые слои — это особое состояние твердых сыпучих материалов, возникающее при пропускании через них газа (или жидкости) снизу вверх с определенной скоростью. В этом состоянии слой зерен ведет себя как **жидкость** — свободно перемешивается, всучивается, может «кипеть» и переносить тепло и массу.

Этот режим широко используется в **фармацевтической, химической и пищевой промышленности** — для сушки, гранулирования, катализитических реакций и т.д.

Принцип псевдоожижения

Что происходит:

- При медленном прохождении газа через слой частиц газ просачивается сквозь неподвижный слой.
- При увеличении скорости газа слой начинает **вспучиваться**.
- Достигается **скорость псевдоожижения (u_{mf})** — частицы начинают «взвешиваться» потоком, слой теряет устойчивость и переходит в **ожиженное состояние**.
- Поведение слоя напоминает **жидкость** — можно «погрузить» предмет, слои смешиваются.

Гидродинамические режимы

В зависимости от **скорости газа и размера частиц** различают следующие режимы течения газа через зернистый слой:

Режим

Фиксированный слой

Псевдоожижение

Пузырьковый режим

Турбулентное
псевдоожижение

Быстрое течение

Пневмотранспорт

Характеристика

Газ проходит через неподвижный слой частиц

Частицы поднимаются и перемешиваются — слой становится подвижным

Формируются газовые пузыри, перемещающиеся вверх

Сильное перемешивание, неустойчивая структура

Частицы выносятся из слоя, начинается эрозия

Полное вынос частиц газом (переход к пневмотранспорту)

Скорость псевдоожижения (u_{mf})

Скорость газа, при которой начинается оживление слоя:

$$u_{mf} = \frac{(\rho_s - \rho_f) \cdot g \cdot d_p^2}{150 \cdot \mu} \cdot \left(\frac{\varepsilon_{mf}^3}{(1 - \varepsilon_{mf})} \right)$$

где: ρ_s — плотность частиц, ρ_f — плотность газа, g — ускорение свободного падения, d_p — средний диаметр частиц, μ — вязкость газа, ε_{mf} — пористость слоя при псевдоожижении.

Характеристики псевдоожиженного слоя

- Поведение как у жидкости: можно "перемешивать" и "взвешивать".
- Высокий коэффициент тепло- и массообмена.
- Температура по высоте слоя почти одинакова.
- Слой можно "перемешивать" без механических мешалок — за счёт движения газа.

Применение в фармацевтической технологии

Псевдоожиженные слои широко используются в:

- **Сушке гранул и порошков** (например, после гранулирования).
- **Обработке частиц** — покрытие, агломерация.
- **Каталитических реакциях** в биотехнологических и химических процессах.
- **Очистке воздуха и газов** от пыли (пылеулавливающие слои).

Преимущества и недостатки

✓ **Преимущества:**

- Интенсивный тепло- и массообмен;
- Равномерное распределение температуры;
- Простота конструкции аппарата;
- Возможность непрерывной работы.

✗ **Недостатки:**

- Эрозия и износ оборудования;
- Унос мелких частиц;
- Нестабильность при высоких скоростях газа;
- Возможность канализации (образования пустот).

Заключение

Гидродинамика псевдоожиженных слоёв — это ключевая область инженерной химии и фармацевтической технологии. Глубокое понимание этого процесса позволяет эффективно проектировать установки для сушки, гранулирования и других операций с порошкообразными и гранулированными материалами.

Контрольные вопросы

1. Что такое псевдоожижение и в каких условиях оно возникает?
2. Какие физические процессы происходят в зернистом слое при достижении состояния псевдоожижения?
3. Как определяется минимальная скорость псевдоожижения? От каких параметров она зависит?
4. Перечислите основные гидродинамические режимы течения газа через зернистый слой.
5. В чём разница между фиксированным слоем и кипящим (ожиженным) слоем?
6. Какие свойства псевдоожиженного слоя сближают его с жидкостью?
7. Почему псевдоожиженный слой эффективен для тепло- и массообмена?
8. Какие проблемы могут возникать при эксплуатации аппаратов с псевдоожиженным слоем?
9. Приведите примеры применения кипящих слоёв в фармацевтической промышленности.
10. В чём преимущества псевдоожиженного слоя по сравнению с обычными методами сушки и обработки частиц?

Литература

- 1) Мантлер С. Н. Химиялық технологияның процестері және аппараттары : оқулық / С. Н. Мантлер, Ф. М. Жуманазарова. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256

- 2) Мантлер С. Н. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / ,Г. М. Жуманазарова. – МОН РК. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256 с
- 3) Арыстанбаев К. Е. Системы управления химико - технологическими процессами : учебное пособие / К. Е. Арыстанбаев, А. Б. Жумабекова, А. А. Умаров. - Алматы : Эверо, 2020. - 128 с
- 4) Орымбетов Ә.М. Химия – фармацевтикалық өндірітін процесстері мен аппаратары. Оқулық Шымкент. ОҚМА АҚ. 2023. - 370 б.
- 5) Химия өндірісінің негізгі процестері мен аппараттары: Зертханалық практикум: оқуқұралы / Ш. Ш. Нұрсейітов. - Алматы :Эверо, 2014. - 140 бет

Электронные ресурсы

31. Электронная библиотека ЮКМА - <https://e-lib.skma.edu.kz/genres>
32. Республиканская межвузовская электронная библиотека (РМЭБ) – <http://rmebrk.kz/>
33. Цифровая библиотека «Aknurpress» - <https://www.aknurpress.kz/>
34. Электронная библиотека «Эпиграф» - <http://www.elib.kz/>
35. Эпиграф - портал мультимедийных учебников <https://mbook.kz/ru/index/>
36. ЭБС IPR SMART <https://www.iprbookshop.ru/auth>
37. информационно-правовая система «Зан» - <https://zan.kz/ru>
38. Medline Ultimate EBSCO
39. eBook Medical Collection EBSCO
40. Scopus - <https://www.scopus.com/>

Электронные учебники

- 1) Фармацевттік өндірістің процестері және аппараттары:дәріс кешені.-Ш.,2023 https://base.ukgfa.kz/?wpfb_dl=29955
- 2) Процессы и аппараты химико-фармацевтического производства: лекц. комплекс.- Ш.,2023 https://base.ukgfa.kz/?wpfb_dl=29966
- 3) Арыстанбаев, К. Е. Системы управления химико-фармацевтическими процессами [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов по специальности "Технология фармацевтического производства". - Электрон. текстовые дан.(6,85 МБ). - Шымкент : ОҚМА, 2018. - 109 с. эл
- 4) Химия өндірістерінің процестері мен аппараттары: Оқу құралы. / Ш.Ш. Нұрсейитов, Қ.Ж. Керімқұлов, Е.Т. Шертаев; Казак технология және бизнес университеті. - Астана: Дәме, 2014. - 1776. РМЭБ/ <http://rmebrk.kz/book/11726915>)
- 6) Арыстанбаев, К. Е. Химия - технологиялық үдерістерді басқару жүйесі [Электронный ресурс] : оқу құралы / Арыстанбаев К. Е., Мамбаева А. М. . - Электрон. текстовые дан. (3, 205 КБ). - Шымкент : ОҚМА, 2022.
- 7) Химиялық процестер технологиясы: Оқулық. / Ж.А. Моулжин, М. Макки, А.Е. Ван Диепен, ағыл. тіл. ауд. Ж. Сүйесінова т.б.; ҚР Білім және ғылым министрлігі, - 2 басылым - Алматы, 2016. - 568б. <http://rmebrk.kz/book/1165064>
- 8) Бородулин, Д. М. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / Д. М. Бородулин, В. Н. Иванец. — Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2007. — 168 с. — ISBN 978-5-89289-435-7. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/14388.html>
- 9) Процессы и аппараты химической технологии : методические указания к самостоятельной работе / составители А. Ш. Бикбулатов [и др.]. — Казань : Казанский

национальный исследовательский технологический университет, 2014. — 72 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/62571>

Лекция 5 Перемещение жидкостей (насосы).

Цель: Дать обучающимся теоретические знания о типах насосов, принципах их работы и особенностях применения в фармацевтической технологии, а также сформировать практические навыки выбора насосного оборудования в зависимости от характеристик жидкости и технологических требований.

Тезисы лекции:

1. Ознакомить с назначением насосов и их ролью в технологических процессах перемещения жидкостей.
2. Изучить классификацию насосов по принципу действия: динамические и объемные.
3. Рассмотреть устройство и принцип работы центробежных насосов, а также их области применения.
4. Проанализировать конструктивные особенности и преимущества объемных насосов (поршневых, диафрагменных, шестерёнчатых и др.).
5. Познакомиться с основными техническими характеристиками насосов: производительность, напор, мощность, КПД, устойчивость к кавитации.
6. Научиться выбирать тип насоса в зависимости от физико-химических свойств перемещаемой жидкости и условий фармацевтического производства.
7. Обратить внимание на санитарно-гигиенические и стерилизационные требования к насосному оборудованию, работающему в фармацевтической среде.

Тезисы

Введение

Перемещение жидкостей — важнейший процесс в любой технологической системе, включая фармацевтическое производство. Он необходим для транспортировки растворов, суспензий, жидких реагентов, дистиллятов и других компонентов. Основными устройствами для этой цели являются **насосы**.

Назначение насосов

Насос — это машина, предназначенная для подачи жидкости, создания и поддержания необходимого давления и расхода в системе.

Насосы обеспечивают:

- циркуляцию теплоносителей;
- подачу растворов в реакторы;
- транспортирование жидкостей между стадиями производства;
- дозирование компонентов с высокой точностью.

Классификация насосов

↗ **По принципу действия:**

1. **Динамические**

— сообщают жидкости энергию за счёт вращательного движения рабочего колеса.
Примеры: центробежные, вихревые насосы.

2. **Объёмные**

— перемещают жидкость за счёт изменения объёма рабочей камеры.
Примеры: поршневые, диафрагменные, шестерёнчатые.
Центробежные насосы (динамические)

❖ **Принцип работы:**

Рабочее колесо вращается, жидкость захватывается лопастями, разгоняется и за счёт центробежной силы отбрасывается к периферии корпуса, где создаётся повышенное давление.

✚ **Преимущества:**

- Простота конструкции
- Надёжность
- Непрерывность потока
- Подходят для больших объёмов

— **Недостатки:**

- Менее эффективны при высоком давлении
- Не работают при "сухом" запуске

Объёмные насосы

5.1. *Поршневые насосы*

- Работают за счёт возвратно-поступательного движения поршня.
- Обеспечивают точную подачу.
- Используются при высоком давлении и дозировании.

5.2. *Диафрагменные насосы*

- Вместо поршня используется гибкая мембрана.
- Преимущество — герметичность, подходит для агрессивных или стерильных сред.

5.3. *Шестерёнчатые насосы*

- Рабочие органы — вращающиеся шестерни.
- Часто применяются для вязких жидкостей.

Основные характеристики насосов

- **Производительность (Q)** — объём жидкости, подаваемый за единицу времени ($\text{м}^3/\text{ч}$, $\text{л}/\text{с}$).
- **Напор (H)** — высота, на которую насос способен поднять жидкость (м).
- **Мощность (N)** — потребляемая энергия (кВт).
- **КПД (η)** — эффективность преобразования энергии.
- **Кавитация** — образование паровых пузырьков в насосе при недостаточном давлении, может привести к разрушению.

Выбор насоса для фармацевтического производства

Критерии выбора:

- Вид жидкости (вязкость, агрессивность, стерильность)
- Необходимый напор и расход
- Устойчивость к санитарной обработке (CIP/SIP)
- Материалы, контактирующие с продуктом (обычно — нержавеющая сталь)

(центробежные)

- Дозировочная точность (особенно важна для жидких лекарственных форм)
Применение насосов в фармацевтике
- Перекачка растворов и суспензий
- Дозирование при фасовке жидких форм
- Стерильные процессы (диафрагменные и перистальтические насосы)
- Работа в установках ВЖХ, фильтрации, экстракции и грануляции

Заключение

Понимание принципов работы и правильный выбор насосов — важная часть инженерного обеспечения фармацевтического производства. Насосы влияют не только на эффективность и экономичность, но и на безопасность, точность и качество конечного продукта.

Контрольные вопросы

1. Какова основная функция насосов в технологических процессах?
2. Как классифицируются насосы по принципу действия?
3. В чём заключается принцип работы центробежного насоса?
4. Какие преимущества и недостатки имеют центробежные насосы?
5. Как работает поршневой насос? Где его целесообразно применять?
6. В чём особенности диафрагменных насосов? Почему они популярны в фармацевтическом производстве?
7. Для каких жидкостей применяются шестерёнчатые насосы?
8. Что такая производительность и напор насоса? Как они связаны с его работой?
9. Что такое кавитация, каковы её причины и последствия?
10. По каким критериям выбирается насос для фармацевтического оборудования?
11. Какие требования предъявляются к материалам и конструкции насосов, контактирующих с лекарственными препаратами?
12. Какие типы насосов обеспечивают стерильность перекачиваемой жидкости?

Литература

- 1) Мантлер С. Н. Химиялық технологияның процестері және аппараттары : оқулық / С. Н. Мантлер, Ф. М. Жуманазарова. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256
- 2) Мантлер С. Н. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / ,Г. М. Жуманазарова. - МОН РК. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256 с
- 3) Арыстанбаев К. Е. Системы управления химико - технологическими процессами : учебное пособие / К. Е. Арыстанбаев, А. Б. Жумабекова, А. А. Умаров. - Алматы : Эверо, 2020. - 128 с
- 4) Орымбетов Э.М. Химия – фармацевтикалық өндірітің процесстері мен аппараттары. Оқулық Шымкент. ОҚМА АҚ. 2023. - 370 б.
- 5) Химия өндірісінің негізгі процестері мен аппараттары: Зертханалық практикум: оқуқұралы / Ш. Ш. Нұрсейітов. - Алматы :Эверо, 2014. - 140 бет

Электронные ресурсы

1. Электронная библиотека ЮКМА - <https://e-lib.skma.edu.kz/genres>
2. Республикаанская межвузовская электронная библиотека (РМЭБ) – <http://rmebrk.kz/>
3. Цифровая библиотека «Aknurpress» - <https://www.aknurpress.kz/>
4. Электронная библиотека «Эпиграф» - <http://www.elib.kz/>

5. Эпиграф - портал мультимедийных учебников <https://mbook.kz/ru/index/>
6. ЭБС IPR SMART <https://www.iprbookshop.ru/auth>
7. информационно-правовая система «Зан» - <https://zan.kz/ru>
8. Medline Ultimate EBSCO
9. eBook Medical Collection EBSCO
10. Scopus - <https://www.scopus.com/>

Электронные учебники

- 1) Фармацевттік өндірістің процестері және аппараттары: дәріс кешені.-Ш.,2023 https://base.ukgfa.kz/?wpfb_dl=29955
- 2) Процессы и аппараты химико-фармацевтического производства: лекц. комплекс.-Ш.,2023 https://base.ukgfa.kz/?wpfb_dl=29966
- 3) Арыстанбаев, К. Е. Системы управления химико-фармацевтическими процессами [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов по специальности "Технология фармацевтического производства". - Электрон. текстовые дан.(6,85 МБ). - Шымкент : ОҚМА, 2018. - 109 с. эл
- 4) Химия өндірістерінің процестері мен аппараттары: Оку құралы. / Ш.Ш. Нұрсейитов, Қ.Ж. Керімкулов, Е.Т. Шертаев; Казак технология және бизнес университеті. - Астана: Дәме, 2014. - 1776. РМЭБ/ <http://rmebrk.kz/book/11726915>
- 6) Арыстанбаев, К. Е. Химия - технологиялық үдерістерді басқару жүйесі [Электронный ресурс] : оқу құралы / Арыстанбаев К. Е., Мамбаева А. М. . - Электрон. текстовые дан. (3, 205 КБ). - Шымкент : ОҚМА, 2022.
- 7) Химиялық процестер технологиясы: Оқулық. / Ж.А. Моулжин, М. Макки, А.Е. Ван Диепен, ағыл. тіл. ауд. Ж. Сүйесінова т.б.; ҚР Білім және ғылым министрлігі, - 2 басылым - Алматы, 2016. - 568б. <http://rmebrk.kz/book/1165064>
- 8) Бородулин, Д. М. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / Д. М. Бородулин, В. Н. Иванец. — Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2007. — 168 с. — ISBN 978-5-89289-435-7. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/14388.html>
- 9) Процессы и аппараты химической технологии : методические указания к самостоятельной работе / составители А. Ш. Бикбулатов [и др.]. — Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2014. — 72 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/62571>

Лекция 6 Перемещение и сжатие газов (компрессорные машины)

Цель: Сформировать у обучающихся теоретические знания и практическое понимание принципов работы компрессорных машин, их классификации, конструктивных особенностей и областей применения, особенно в условиях фармацевтического производства.

Тезисы лекции:

- Ознакомить с физическими основами процесса перемещения и сжатия газов.

- Изучить классификацию компрессорных машин по принципу действия (объёмные и динамические компрессоры).
- Рассмотреть конструкцию и принцип работы различных типов компрессоров: поршневых, винтовых, роторных, центробежных и осевых.
- Проанализировать основные рабочие характеристики компрессоров: производительность, степень сжатия, давление, температура и КПД.
- Объяснить влияние сжатия на физические свойства газа и необходимость охлаждения при многоступенчатом сжатии.
- Разобрать особенности эксплуатации компрессоров в фармацевтической промышленности: стерильность, чистота воздуха, устойчивость к коррозии, соответствие санитарным нормам.
- Научить принципам выбора компрессорного оборудования в зависимости от свойств газа и требований технологического процесса.

Тезисы

Введение

Процессы перемещения и сжатия газов широко применяются в различных отраслях, включая **фармацевтическую**, **химическую**, **пищевую** и **биотехнологическую** промышленность. В производстве лекарственных средств компрессорные машины обеспечивают подачу сжатого воздуха, газа, стерильных сред, участвуют в пневмотранспорте, сушке, вентиляции и охлаждении.

Что такое компрессорные машины?

Компрессорные машины — это устройства, предназначенные для перемещения газов и **повышения их давления**. В отличие от насосов, компрессоры работают с **сжимаемыми средами** (газы, воздух, пары).

Основные функции компрессоров:

- Подъём давления газа до заданного уровня
- Обеспечение непрерывного или порционного газоснабжения
- Участие в технологических операциях (сушка, продувка, реакционные процессы, пневмотранспорт)
- Создание вакуума (в случае вакуумных насосов)

Классификация компрессоров

❖ **По принципу действия:**

1. **Объёмные**

Газ сжимается за счёт уменьшения объёма рабочей камеры.

- Поршневые
- Винтовые
- Роторно-пластинчатые

компрессоры

2. **Динамические**

Газ разгоняется вращающимся колесом, а затем его кинетическая энергия переходит в давление.

- Центробежные
- Осевые

(турбомашины)

Объёмные компрессоры

5.1. Поршневой компрессор

Работает по аналогии с двигателем: поршень сжимает газ в цилиндре.

✓ Преимущества: высокий КПД, возможность получения высокого давления

✗ Недостатки: шум, вибрации, необходимость смазки и охлаждения

5.2. Винтовой компрессор

Два ротора захватывают и сжимают газ.

✓ Тихий, компактный, надёжен

✗ Менее эффективен на низком давлении

5.3. Роторно-пластинчатый компрессор

Ротор с подвижными лопатками вращается внутри камеры, сжимая газ.

✓ Хорошо подходит для небольших установок

✗ Ограничен по давлению

Динамические компрессоры

6.1. Центробежные компрессоры

Газ разгоняется в рабочем колесе, давление повышается в диффузоре.

✓ Используются для больших объёмов воздуха при умеренном давлении

✗ Меньшая эффективность при переменных нагрузках

6.2. Осевые компрессоры

Газ проходит через ряд неподвижных и вращающихся лопаток.

✓ Высокая производительность, компактность

✗ Сложность конструкции, чувствительность к отклонениям режима

Основные параметры компрессоров

- **Производительность (V)** — объём газа, подаваемый за единицу времени
- **Давление нагнетания (P₂)** и всасывания (P₁)
- **Степень сжатия (π):**

$$\pi = P_2/P_1$$

Температура газа до и после сжатия

Мощность и КПД

Влияние сжатия на газ

- При сжатии газ **нагревается** — важно предусмотреть охлаждение (интеркулеры).
- Многократное сжатие проводится в несколько ступеней.
- Повышение температуры снижает эффективность и может быть опасным при работе с горючими или чувствительными газами.

Применение в фармацевтической технологии

Компрессоры используются для:

- Подачи **сжатого воздуха** для пневмоприводов, управления арматурой, очистки и продувки
- **Пневмотранспорта** порошков и гранул
- Обеспечения **стерильного газа** в асептических зонах
- **Создания вакуума** (вакуумные насосы) при фильтрации, сушке, упаковке
- Работы с газами в **реакторах и ферментерах**
- Участия в **аэрозольных и ингаляционных технологиях**

Требования к компрессорам в фармацевтике

- Материалы, контактирующие с продуктом — коррозионностойкие, нетоксичные (нерж. сталь)
- Минимальный уровень вибрации и шума
- Возможность работы с **стерильным или очищенным воздухом**
- Совместимость с системами **CIP/SIP**
- Устойчивость к загрязнению и лёгкость в санитарной обработке

Заключение

Компрессорные машины — неотъемлемая часть фармацевтической технологической инфраструктуры. Правильный выбор и эксплуатация компрессоров напрямую влияет на надёжность, стерильность, энергоэффективность и безопасность производственного процесса.

Контрольные вопросы

1. Что такое компрессорная машина и в чём её основное назначение?
2. В чём принципиальное отличие между насосами и компрессорами?
3. Как классифицируются компрессоры по принципу действия?
4. Опишите принцип работы поршневого компрессора. В каких случаях он применяется?
5. Какие особенности имеют винтовые компрессоры? Назовите их преимущества и недостатки.
6. Чем отличается работа роторно-пластинчатого компрессора от поршневого?
7. Каков принцип действия центробежного компрессора? Для чего он используется?
8. Что такое степень сжатия? Как она рассчитывается?
9. Почему при сжатии газа повышается его температура? Какие меры принимаются для охлаждения?
10. Зачем применяют многоступенчатое сжатие в компрессорах?
11. Каковы основные параметры компрессора, определяющие его выбор для конкретного технологического процесса?
12. Какие требования предъявляются к компрессорам, используемым в фармацевтической промышленности?

Литература

- 1) Мантлер С. Н. Химиялық технологияның процестері және аппараттары : оқулық / С. Н. Мантлер, Ф. М. Жуманазарова. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256
- 2) Мантлер С. Н. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / ,Г. М. Жуманазарова. – МОН РК. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256 с
- 3) Арыстанбаев К. Е. Системы управления химико - технологическими процессами : учебное пособие / К. Е. Арыстанбаев, А. Б. Жумабекова, А. А. Умаров. - Алматы : Эверо, 2020. - 128 с
- 4) Орымбетов Э.М. Химия – фармацевтикалық өндірітің процесстері мен аппараттары. Оқулық Шымкент. ОҚМА АҚ. 2023. - 370 б.
- 5) Химия өндірісінің негізгі процестері мен аппараттары: Зертханалық практикум: оқуқұралы / Ш. Ш. Нұрсейітов. - Алматы :Эверо, 2014. - 140 бет

Электронные ресурсы

1. Электронная библиотека ЮКМА - <https://e-lib.skma.edu.kz/genres>
2. Республиканская межвузовская электронная библиотека (РМЭБ) – <http://rmebrk.kz/>
3. Цифровая библиотека «Aknurpress» - <https://www.aknurpress.kz/>
4. Электронная библиотека «Эпиграф» - <http://www.elib.kz/>
5. Эпиграф - портал мультимедийных учебников <https://mbook.kz/ru/index/>
6. ЭБС IPR SMART <https://www.iprbookshop.ru/auth>
7. Информационно-правовая система «Зан» - <https://zan.kz/ru>
8. Medline Ultimate EBSCO
9. eBook Medical Collection EBSCO
10. Scopus - <https://www.scopus.com/>

Электронные учебники

- 1) Фармацевттік өндірістің процестері және аппараттары: дәріс кешені.-Ш.,2023 https://base.ukgfa.kz/?wpfb_dl=29955
- 2) Процессы и аппараты химико-фармацевтического производства: лекц. комплекс.-Ш.,2023 https://base.ukgfa.kz/?wpfb_dl=29966
- 3) Арыстанбаев, К. Е. Системы управления химико-фармацевтическими процессами [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов по специальности "Технология фармацевтического производства". - Электрон. текстовые дан.(6,85 МБ). - Шымкент : ОКМА, 2018. - 109 с. эл
- 4) Химия өндірістерінің процестері мен аппараттары: Оқу құралы. / Ш.Ш. Нұрсейитов, Қ.Ж. Керімқұлов, Е.Т. Шертаев; Казақ технология және бизнес университеті. - Астана: Дәме, 2014. - 177б. РМЭБ/ <http://rmebrk.kz/book/11726915>
- 6) Арыстанбаев, К. Е. Химия - технологиялық үдерістерді басқару жүйесі [Электронный ресурс] : оқу құралы / Арыстанбаев К. Е., Мамбаева А. М. . - Электрон. текстовые дан. (3, 205 КБ). - Шымкент : ОКМА, 2022.
- 7) Химиялық процесстер технологиясы: Оқулық. / Ж.А. Моулжин, М. Макки, А.Е. Ван Диепен, ағыл. тіл. ауд. Ж. Сүйесінова т.б.; ҚР Білім және ғылым министрлігі, - 2 басылым - Алматы, 2016. - 568б. <http://rmebrk.kz/book/1165064>
- 8) Бородулин, Д. М. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / Д. М. Бородулин, В. Н. Иванец. — Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2007. — 168 с. — ISBN 978-5-89289-435-7. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/14388.html>
- 9) Процессы и аппараты химической технологии : методические указания к самостоятельной работе / составители А. Ш. Бикбулатов [и др.]. — Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2014. — 72 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/62571>

Лекция 7 Разделение неоднородных систем. Отстаивание. Фильтрование.

Цель: Познакомить студентов с основными методами разделения неоднородных систем — отстаиванием и фильтрованием, их физическими принципами, технологическими особенностями и применением в фармацевтическом производстве.

Тезисы лекции:

- Изучить понятие неоднородных систем и причины необходимости их разделения.
- Рассмотреть физическую суть и механизмы процесса отстаивания, включая влияние основных факторов (плотность, размер частиц, вязкость среды).
- Ознакомиться с законом Стокса и применением его для определения скорости осаждения частиц.
- Исследовать процесс фильтрования, типы фильтров и материалы, используемые для разделения фаз.
- Изучить основные параметры и закономерности фильтрования, включая закон Дарси.
- Рассмотреть различные методы фильтрования (гравитационное, вакуумное, под давлением) и их технологические особенности.
- Проанализировать области применения отстаивания и фильтрования в фармацевтической промышленности.

Тезисы

Введение

В фармацевтическом и химическом производстве часто возникает необходимость разделения неоднородных систем — смесей, состоящих из двух или более фаз с разной природой и свойствами (жидкость-жидкость, жидкость-твёрдое тело, газ-жидкость и т.д.). К важнейшим методам механического разделения относятся **отстаивание** и **фильтрование**.

Понятие неоднородных систем

Неоднородные системы — это смеси, в которых компоненты не образуют однородного раствора, а распределены в виде отдельных фаз. Например:

- суспензии (твёрдые частицы в жидкости)
- эмульсии (жидкость в жидкости)
- аэрозоли (жидкость или твёрдое вещество в газе)

Задача разделения — выделить одну фазу с наименьшими потерями.

Метод отстаивания

Суть метода

Отстаивание — процесс разделения смеси на фазы под действием силы тяжести за счёт разницы плотностей.

Время разделения зависит от размеров частиц, разницы плотностей и вязкости жидкости.

Основные понятия и закономерности

- Частицы под действием силы тяжести движутся вниз или вверх (если плотность меньше жидкости).
- Скорость осаждения частицы описывается законом Стокса (для сферических частиц):

$$v = \frac{2}{9} \frac{r^2 (\rho_p - \rho_f) g}{\eta}$$

где: v — скорость осаждения, r — радиус частицы, ρ_p — плотности частицы и жидкости, g — ускорение свободного падения, η — вязкость жидкости.

- При увеличении размеров частиц и разницы плотностей скорость увеличивается, а при росте вязкости — уменьшается.

Применение отстаивания

- Осветление растворов и суспензий
 - Очистка жидкостей от механических примесей
 - Разделение фаз в экстракции и других процессах
- Метод фильтрования

Суть метода

Фильтрование — процесс разделения жидкости и твёрдых частиц путём прохождения смеси через фильтрующий материал, задерживающий частицы.

Типы фильтров

- **Грубые фильтры** (сетки, ткани) — удаляют крупные частицы
- **Тонкие фильтры** (бумага, мембранны) — задерживают мелкие частицы и коллоиды

Механизм процесса

- Смесь подаётся на поверхность фильтра
- Жидкость проходит через поры фильтра
- Твёрдые частицы остаются на поверхности или внутри фильтрационного слоя, образуя осадок (kek)

Основные параметры фильтрования

- Скорость фильтрации
- Напор или перепад давления
- Размер и структура фильтрующего материала
- Характеристики жидкости (вязкость, температура)

Закон Дарси для фильтрования

Скорость фильтрации связана с перепадом давления и сопротивлением слоя:

$$v = \frac{\Delta P}{\mu(R_f + R_c)}$$

где: ΔP — перепад давления,

μ — вязкость жидкости,

R_f — сопротивление фильтра,

R_c — сопротивление осадка.

Виды фильтрования по способу движения жидкости

- **Гравитационное** — под действием силы тяжести
- **Под давлением** — с помощью насоса или компрессора
- **Вакуумное** — под разрежением снизу фильтра

Применение фильтрования

- Очистка растворов от механических примесей
- Сепарация твердых продуктов из суспензий
- Подготовка фармацевтических растворов к стерилизации

Заключение

Отстаивание и фильтрование — базовые методы разделения неоднородных систем. Их правильный выбор и оптимизация условий важны для эффективности технологических процессов в фармацевтической промышленности.

ОНТҮСТИК ҚАЗАҚСТАН MEDISINA АКАДЕМИЯСЫ АҚ «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ	 SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра «Инженерные дисциплины»	76-11 Стр. 29 из 41
Лекции по дисциплине «Процессы и аппараты химико-фармацевтического производства-1»	

Контрольные вопросы

- 1 Что такое неоднородные системы? Приведите примеры таких систем в фармацевтической промышленности.
- 2 В чём заключается принцип разделения неоднородных систем методом отстаивания?
- 3 Какие факторы влияют на скорость осаждения частиц при отстаивании?
- 4 Запишите и объясните закон Стокса для определения скорости осаждения частиц.
- 5 Какие основные виды фильтров используются для фильтрования? Чем они отличаются?
- 6 Каковы основные параметры, влияющие на процесс фильтрования?
- 7 В чём суть закона Дарси и как он применяется при фильтровании?
- 8 Чем различаются гравитационное, вакуумное и фильтрование под давлением?
- 9 Какие требования предъявляются к фильтрам, используемым в фармацевтическом производстве?
- 10 В каких технологических процессах фармацевтического производства применяются отстаивание и фильтрование?

Литература

- 1) Мантлер С. Н. Химиялық технологияның процестері және аппараттары : оқулық / С. Н. Мантлер, Ф. М. Жуманазарова. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256
- 2) Мантлер С. Н. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / ,Г. М. Жуманазарова. – МОН РК. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256 с
- 3) Арыстанбаев К. Е. Системы управления химико - технологическими процессами : учебное пособие / К. Е. Арыстанбаев, А. Б. Жумабекова, А. А. Умаров. - Алматы : Эверо, 2020. - 128 с
- 4) Орымбетов Ә.М. Химия – фармацевтикалық өндірітін процестері мен аппараттары. Оқулық Шымкент. ОҚМА АҚ. 2023. - 370 б.
- 5) Химия өндірісінің негізгі процестері мен аппараттары: Зертханалық практикум: оқуқұралы / Ш. Ш. Нұрсейітов. - Алматы :Эверо, 2014. - 140 бет

Электронные ресурсы

- 1.Электронная библиотека ЮКМА - <https://e-lib.skma.edu.kz/genres>
- 2.Республиканская межвузовская электронная библиотека (РМЭБ) – <http://rmebrk.kz/>
- 3.Цифровая библиотека «Aknurpress» - <https://www.aknurpress.kz/>
- 4.Электронная библиотека «Эпиграф» - <http://www.elib.kz/>
- 5.Эпиграф - портал мультимедийных учебников <https://mbook.kz/ru/index/>
- 6.ЭБС IPR SMART <https://www.iprbookshop.ru/auth>
- 7.информационно-правовая система «Зан» - <https://zan.kz/ru>
- 8.Medline Ultimate EBSCO
- 9.eBook Medical Collection EBSCO
- 10.Scopus - <https://www.scopus.com/>

Электронные учебники

- 1) Фармацевттік өндірістің процестері және аппараттары:дәріс кешені.-Ш.,2023 https://base.ukgfa.kz/?wpfb_dl=29955
- 2) Процессы и аппараты химико-фармацевтического производства: лекц. комплекс.-Ш.,2023 https://base.ukgfa.kz/?wpfb_dl=29966
- 3) Арыстанбаев, К. Е. Системы управления химико-фармацевтическими процессами [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов по специальности "Технология

фармацевтического производства". - Электрон. текстовые дан.(6,85 МБ). - Шымкент : ОҚМА, 2018. - 109 с. эл

4) Химия өндірістерінің процестері мен аппараттары: Оқу құралы. / Ш.Ш. Нұрсейтов, Қ.Ж. Керімқұлов, Е.Т. Шертаев; Казақ технология және бизнес университеті. - Астана: Дәме, 2014. - 1776. РМЭБ/ <http://rmebrk.kz/book/11726915>)

6) Арыстанбаев, К. Е. Химия - технологиялық үдерістерді басқару жүйесі [Электронный ресурс] : оку құралы / Арыстанбаев К. Е., Мамбаева А. М. . - Электрон. текстовые дан. (3, 205 КБ). - Шымкент : ОҚМА, 2022.

7) Химиялық процестер технологиясы: Оқулық. / Ж.А. Моулжин, М. Макки, А.Е. Ван Диепен, ағыл. тіл. ауд. Ж. Сүйесінова т.б.; ҚР Білім және ғылым министрлігі, - 2 басылым - Алматы, 2016. - 5686. <http://rmebrk.kz/book/1165064>

8) Бородулин, Д. М. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / Д. М. Бородулин, В. Н. Иванец. — Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2007. — 168 с. — ISBN 978-5-89289-435-7. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/14388.html>

9) Процессы и аппараты химической технологии : методические указания к самостоятельной работе / составители А. Ш. Бикбулатов [и др.]. — Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2014. — 72 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/62571>

Лекция 8 Центрифугирование. Разделение газовых систем (очистка газов).

Цель: Сформировать у обучающихся представление о физических принципах, технологических возможностях и областях применения центрифугирования и методов очистки газов в фармацевтическом производстве, а также развить навыки выбора подходящего оборудования и расчёта параметров разделения.

Тезисы лекции:

- Ознакомить с понятием центробежной силы и её применением в разделении неоднородных систем.

- Изучить принципы работы и классификацию центрифуг: лабораторных, промышленных, декантеров, сепараторов.

- Рассмотреть основные параметры центрифугирования, влияющие на эффективность разделения: скорость вращения, радиус, плотность частиц.

- Показать преимущества центрифугирования перед гравитационным отстаиванием, особенно для мелкодисперсных систем.

- Познакомить с методами очистки газов от твёрдых, жидких и парообразных загрязнений: механическими, физико-химическими и сорбционными.

- Изучить конструкции и принцип работы циклонов, тканевых фильтров, скрубберов и адсорберов.

- Рассмотреть примеры применения центрифугирования и очистки газов в фармацевтической промышленности, включая обеспечение стерильности, чистоты воздуха и регенерации материалов.

Тезисы

Введение

Разделение неоднородных систем является важным этапом технологических процессов в фармацевтической, химической и пищевой промышленности. Помимо методов отстаивания и фильтрования, широко применяются методы, использующие центробежную силу — **центрифугирование**. Кроме того, очистка газовых систем занимает значительное место для обеспечения безопасности и качества продукции.

Центрифугирование

Суть метода

Центрифугирование — процесс разделения неоднородных систем под воздействием центробежных сил, создаваемых вращением устройства (центрифуги). При этом частицы с большей плотностью под действием центробежной силы перемещаются к периферии, а менее плотные — к оси вращения.

Центрифугирование позволяет значительно ускорить процессы разделения по сравнению с гравитационным отстаиванием.

Основные виды центрифуг

- **Простые центрифуги** — для осветления жидкостей и удаления механических примесей
- **Декантеры (горизонтальные центрифуги)** — для разделения твердых и жидких фаз
- **Сепараторы** — для разделения жидкостей с разной плотностью или твердых частиц из жидкости с высокой скоростью
- **Вакуумные центрифуги** — для сушки и разделения в вакууме

Принцип действия

Сила, действующая на частицу при вращении, пропорциональна квадрату угловой скорости и расстоянию от оси:

$$F_c = m\omega^2 r$$

где: m — масса частицы, ω — угловая скорость вращения, r — радиус вращения.

Эта сила значительно превышает силу тяжести и позволяет эффективно отделять мельчайшие частицы.

Применение центрифугирования в фармацевтике

- Очистка супензий и эмульсий
- Выделение микрочастиц и осадков
- Сепарация биологических жидкостей (кровь, сыворотка)
- Подготовка лекарственных веществ к дальнейшей обработке

Разделение газовых систем (очистка газов)

Необходимость очистки газов

В технологических процессах возникает необходимость очистки газов от твердых частиц, аэрозолей, паров и вредных примесей для:

- Обеспечения качества продукции
- Защиты оборудования
- Соблюдения экологических норм

Основные методы очистки газов

1. Механические методы

- Фильтрация через тканевые или металлические фильтры
- Центробежное разделение (циклоны)

2. Адсорбция

Использование активированных углей, цеолитов для удаления паров и газов

3. Химическая очистка

Реакция загрязнений с реагентами (нейтрализация кислот, окисление)

4. Влажная очистка (скруббера)

Промывание газов водой или растворами реагентов

Циклоны — центробежные очистители газа

- Газ с примесями вводится в корпус циклонного аппарата под углом, создавая вращательное движение
- Частицы тяжелее газа под действием центробежной силы перемещаются к стенкам и оседают
- Очищенный газ выходит через центральное отверстие

Тканевые и фильтровальные рукава

- Используются для очистки газов от мелкодисперсных частиц
- Применяются в фармацевтических производствах для обеспечения чистоты воздуха

Заключение

Центрифугирование и методы очистки газов играют важную роль в обеспечении эффективности, качества и безопасности технологических процессов в фармацевтической промышленности. Их правильный выбор и эксплуатация позволяют достигать высокой степени разделения и очистки при минимальных энергозатратах.

Контрольные вопросы

- 1 В чём заключается физический принцип центрифугирования?
- 2 Чем центрифугирование отличается от отстаивания?
- 3 Как рассчитывается центробежная сила, действующая на частицу в центрифуге?
- 4 Какие типы центрифуг применяются в промышленности и лабораторной практике?
- 5 Как влияет скорость вращения и радиус барабана на эффективность центрифугирования?
- 6 В каких фармацевтических процессах используется центрифугирование?
- 7 Какие методы применяются для очистки газовых сред от механических примесей?
- 8 Как устроен и работает циклон для очистки газа?
- 9 Что такое тканевые фильтры и фильтровальные рукава? В чём их назначение?
- 10 Каковы основные принципы работы мокрых (влажных) газоочистителей — скрубберов?

Литература

- 1) Мантлер С. Н. Химиялық технологияның процестері және аппараттары : оқулық / С. Н. Мантлер, Ф. М. Жуманазарова. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256
- 2) Мантлер С. Н. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / ,Г. М. Жуманазарова. – МОН РК. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256 с
- 3) Арыстанбаев К. Е. Системы управления химико - технологическими процессами : учебное пособие / К. Е. Арыстанбаев, А. Б. Жумабекова, А. А. Умаров. - Алматы : Эверо, 2020. - 128 с
- 4) Орымбетов Ә.М. Химия – фармацевтикалық өндірітін процесстері мен аппараттары. Оқулық Шымкент. ОҚМА АҚ. 2023. - 370 б.
- 5) Химия өндірісінің негізгі процестері мен аппараттары: Зертханалық практикум: оқуқұралы / Ш. Ш. Нұрсейітов. - Алматы :Эверо, 2014. - 140 бет

Электронные ресурсы

- 1.Электронная библиотека ЮКМА - <https://e-lib.skma.edu.kz/genres>
- 2.Республиканская межвузовская электронная библиотека (РМЭБ) – <http://rmebrk.kz/>
- 3.Цифровая библиотека «Aknurpress» - <https://www.aknurpress.kz/>
- 4.Электронная библиотека «Эпиграф» - <http://www.elib.kz/>
- 5.Эпиграф - портал мультимедийных учебников <https://mbook.kz/ru/index/>
- 6.ЭБС IPR SMART <https://www.iprbookshop.ru/auth>
- 7.информационно-правовая система «Зан» - <https://zan.kz/ru>
- 8.Medline Ultimate EBSCO
- 9.eBook Medical Collection EBSCO
- 10.Scopus - <https://www.scopus.com/>

Электронные учебники

- 1) Фармацевттік өндірістің процестері және аппараттары:дәріс кешені.-Ш.,2023 https://base.ukgfa.kz/?wpfb_dl=29955
- 2) Процессы и аппараты химико-фармацевтического производства: лекц. комплекс.- Ш.,2023 https://base.ukgfa.kz/?wpfb_dl=29966
- 3) Арыстанбаев, К. Е. Системы управления химико-фармацевтическими процессами [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов по специальности "Технология фармацевтического производства". - Электрон. текстовые дан.(6,85 МБ). - Шымкент : ОҚМА, 2018. - 109 с. эл
- 4) Химия өндірістерінің процестері мен аппараттары: Оқу құралы. / Ш.Ш. Нұрсейитов, Қ.Ж. Керімқұлов, Е.Т. Шертаев; Казак технология және бизнес университеті. - Астана: Дәме, 2014. - 1776. РМЭБ/ <http://rmebrk.kz/book/11726915>
- 6) Арыстанбаев, К. Е. Химия - технологиялық үдерістерді басқару жүйесі [Электронный ресурс] : оқу құралы / Арыстанбаев К. Е., Мамбаева А. М. . - Электрон. текстовые дан. (3, 205 КБ). - Шымкент : ОҚМА, 2022.
- 7) Химиялық процестер технологиясы: Оқулық. / Ж.А. Моулжин, М. Макки, А.Е. Ван Диепен, ағыл. тіл. ауд. Ж. Сүйесінова т.б.; ҚР Білім және ғылым министрлігі, - 2 басылым - Алматы, 2016. - 5686. <http://rmebrk.kz/book/1165064>
- 8) Бородулин, Д. М. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / Д. М. Бородулин, В. Н. Иванец. — Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2007. — 168 с. — ISBN 978-5-89289-435-7. — Текст :

электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/14388.html>

9) Процессы и аппараты химической технологии : методические указания к самостоятельной работе / составители А. Ш. Бикбулатов [и др.]. — Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2014. — 72 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/62571>

Лекция 9 Перемешивание в жидких средах.

Цель: Дать обучающимся представление о теоретических основах и практических аспектах перемешивания жидких сред, типах оборудования, механизмах и параметрах процесса, а также значении перемешивания в фармацевтической технологии.

Тезисы лекции:

1. Изучить цели и назначение перемешивания в различных технологических процессах.
2. Рассмотреть физические принципы перемешивания и формирование потоков жидкости (осевых, радиальных, тангенциальных).
3. Ознакомиться с классификацией мешалок по конструкции и назначению (лопастные, пропеллерные, турбинные, якорные и др.).
4. Освоить основные параметры, влияющие на эффективность перемешивания: скорость вращения, диаметр мешалки, число Рейнольдса, мощность перемешивания.
5. Изучить особенности перемешивания разнородных жидких систем: суспензий, эмульсий, растворов, газо-жидкостных смесей.
6. Познакомиться с применением перемешивания в фармацевтическом производстве: приготовление растворов, суспензий, эмульсий, аэрация и ферментация.
7. Сформировать навыки выбора типа мешалки и режима перемешивания в зависимости от технологической задачи и реологических свойств среды.

Тезисы

Введение

Перемешивание является одной из важнейших операций в фармацевтической, химической, пищевой и биотехнологической промышленности. Оно обеспечивает однородность состава, ускоряет протекание физических и химических процессов и способствует более эффективному тепло- и массообмену.

Цель перемешивания

Основные задачи перемешивания:

- Обеспечение равномерного распределения компонентов (жидкость-жидкость, жидкость-твёрдое, жидкость-газ);

- Поддержание дисперсных систем в стабильном состоянии (сусpenзии, эмульсии);
- Ускорение растворения веществ;
- Улучшение теплообмена;
- Поддержание однородности при протекании химических реакций и ферментации.

Классификация перемешиваемых систем

- Однородные жидкости** — перемешиваются для поддержания равномерной концентрации или температуры.
- Сусpenзии** — требуется поддержание взвешенного состояния твёрдых частиц.
- Эмульсии** — перемешивание способствует стабилизации дисперсии.
- Газо-жидкостные смеси** — для насыщения жидкости газом (например, при аэрации в биореакторах).

Механизмы перемешивания

Перемешивание может осуществляться за счёт:

- Механических сил** (лопастные мешалки, турбинные, пропеллерные);
- Пневматического воздействия** (барботаж газом снизу);
- Гидравлического перемешивания** (циркуляция жидкости);
- Ультразвука и вибрации** (в лабораторных условиях).

Оборудование для перемешивания

Мешалки

- Лопастные мешалки** — для жидкостей с низкой вязкостью; создают радиальные и осевые потоки.
- Пропеллерные мешалки** — обеспечивают высокую циркуляцию при малом энергопотреблении.
- Турбинные мешалки** — применяются для более вязких жидкостей.
- Якорные мешалки** — работают при высоковязких средах и близких к стенкам сосуда.
- Мешалки с рамой и скребками** — для паст и мазей.

Дополнительные элементы

- Дефлекторы** (лопасти, направляющие) — предотвращают вращение всего объёма жидкости.
- Ферментёры и реакторы** — снабжены специальными мешалками и системами аэрации.

Основные параметры перемешивания

- Скорость вращения мешалки (n)** — обороты в минуту (об/мин).
- Диаметр мешалки (D)** — влияет на интенсивность потока.
- Режим течения:** ламинарный, переходный, турбулентный.
- Режим определяется числом Рейнольдса (Re):**

$$Re = \frac{D^2 \cdot n \cdot \rho}{\mu}$$

где: D — диаметр мешалки, n — частота вращения, ρ — плотность среды, μ — вязкость.

Энергетические характеристики

- Мощность перемешивания (P)** рассчитывается с учётом коэффициента сопротивления (число мощности) и физических свойств жидкости:

$$P = N_p \cdot \rho \cdot n^3 \cdot D^5$$

где N_p — безразмерное число мощности.

Особенности перемешивания в фармацевтике

- Требуется гомогенность и стерильность среды.
 - Часто используются герметичные реакторы и мешалки, соответствующие требованиям GMP.
 - Для асептических условий — магнитные мешалки без сальников.
 - В производстве мазей и кремов — необходимы мешалки с высокой мощностью и системой охлаждения/нагрева.
- Примеры применения перемешивания
- Приготовление растворов и суспензий
 - Эмульгирование и диспергирование
 - Растворение действующих веществ
 - Аэрация при культивировании микроорганизмов
 - Смешивание компонентов при производстве мазей, гелей, сиропов

Заключение

Перемешивание в жидких средах — ключевая операция, влияющая на эффективность, стабильность и качество фармацевтической продукции. Выбор типа мешалки и режимов перемешивания должен основываться на свойствах среды, целях процесса и технологических требованиях.

Контрольные вопросы

- 1 Какова основная цель перемешивания в жидких средах?
- 2 Какие задачи решаются с помощью перемешивания в фармацевтических и химических производствах?
- 3 Какие бывают типы жидкых систем, подлежащих перемешиванию?
- 4 Чем отличается перемешивание однородных жидкостей от перемешивания суспензий и эмульсий?
- 5 Какие существуют основные виды мешалок и в каких случаях они применяются?
- 6 Что такое осевой, радиальный и тангенциальный потоки при перемешивании?
- 7 Каково значение числа Рейнольдса в оценке режима перемешивания?
- 8 Какие режимы движения жидкости могут возникать в процессе перемешивания?
- 9 Как влияет вязкость жидкости на выбор типа мешалки и режим перемешивания?
- 10 Какие параметры влияют на мощность, потребляемую при перемешивании?

Литература

- 1) Мантлер С. Н. Химиялық технологияның процестері және аппараттары : оқулық / С. Н. Мантлер, Ф. М. Жуманазарова. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256
- 2) Мантлер С. Н. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / ,Г. М. Жуманазарова. – МОН РК. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256 с
- 3) Арыстанбаев К. Е. Системы управления химико - технологическими процессами : учебное пособие / К. Е. Арыстанбаев, А. Б. Жумабекова, А. А. Умаров. - Алматы : Эверо, 2020. - 128 с
- 4) Орымбетов Э.М. Химия – фармацевтикалық өндірітін процесстері мен аппараттары. Оқулық Шымкент. ОҚМА АҚ. 2023. - 370 б.
- 5) Химия өндірісінің негізгі процестері мен аппараттары: Зертханалық практикум: оқуқұралы / Ш. Ш. Нұрсейітов. - Алматы :Эверо, 2014. - 140 бет

Электронные ресурсы

1. Электронная библиотека ЮКМА - <https://e-lib.skma.edu.kz/genres>
2. Республикаанская межвузовская электронная библиотека (РМЭБ) – <http://rmebrk.kz/>
3. Цифровая библиотека «Aknurpress» - <https://www.aknurpress.kz/>
4. Электронная библиотека «Эпиграф» - <http://www.elib.kz/>
5. Эпиграф - портал мультимедийных учебников <https://mbook.kz/ru/index/>
6. ЭБС IPR SMART <https://www.iprbookshop.ru/auth>
7. Информационно-правовая система «Зан» - <https://zan.kz/ru>
8. Medline Ultimate EBSCO
9. eBook Medical Collection EBSCO
10. Scopus - <https://www.scopus.com/>

Электронные учебники

- 1) Фармацевттік өндірістің процестері және аппараттары: дәріс кешені. - III., 2023 https://base.ukgfa.kz/?wpfb_dl=29955
- 2) Процессы и аппараты химико-фармацевтического производства: лекц. комплекс. - III., 2023 https://base.ukgfa.kz/?wpfb_dl=29966
- 3) Арыстанбаев, К. Е. Системы управления химико-фармацевтическими процессами [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов по специальности "Технология фармацевтического производства". - Электрон. текстовые дан.(6,85 МБ). - Шымкент : ОҚМА, 2018. - 109 с. эл
- 4) Химия өндірістерінің процестері мен аппараттары: Оку құралы. / Ш.Ш. Нұрсейитов, Қ.Ж. Керімқұлов, Е.Т. Шертаев; Казақ технология және бизнес университеті. - Астана: Дәме, 2014. - 1776. РМЭБ/ <http://rmebrk.kz/book/11726915>
- 6) Арыстанбаев, К. Е. Химия - технологиялық үдерістерді басқару жүйесі [Электронный ресурс] : оқу құралы / Арыстанбаев К. Е., Мамбаева А. М. . - Электрон. текстовые дан. (3, 205 КБ). - Шымкент : ОҚМА, 2022.
- 7) Химиялық процестер технологиясы: Оқулық. / Ж.А. Моулжин, М. Макки, А.Е. Ван Диепен, ағыл. тіл. ауд. Ж. Сүйесінова т.б.; ҚР Білім және ғылым министрлігі, - 2 басылым - Алматы, 2016. - 5686. <http://rmebrk.kz/book/1165064>
- 8) Бородулин, Д. М. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / Д. М. Бородулин, В. Н. Иванец. — Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2007. — 168 с. — ISBN 978-5-89289-435-7. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/14388.html>
- 9) Процессы и аппараты химической технологии : методические указания к самостоятельной работе / составители А. Ш. Бикбулатов [и др.]. — Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2014. — 72 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/62571>

Лекция 10 Механические процессы. Прессование.

Цель: Изучить теоретические основы и практические аспекты процесса прессования как одного из ключевых механических процессов в фармацевтической технологии, а также сформировать понимание оборудования, режимов и факторов, влияющих на качество твёрдых лекарственных форм.

Тезисы лекции:

- Ознакомиться с понятием и классификацией механических процессов, применяемых в фармацевтической промышленности.
- Дать определение процессу прессования и раскрыть его роль в производстве твёрдых лекарственных форм (таблеток, брикетов, компактов и др.).
- Рассмотреть этапы прессования и физическую сущность уплотнения и связывания частиц в матрице.
- Изучить основные виды прессования (статическое, динамическое, изостатическое) и области их применения.
- Ознакомиться с устройством и принципами работы прессового оборудования (ручные прессы, роторные таблеточные машины, гидравлические и механические прессы).
- Проанализировать факторы, влияющие на эффективность и качество прессования: свойства порошков, влажность, давление, состав, наличие вспомогательных веществ.
- Обратить внимание на возможные технологические дефекты (расслоение, крошление, налипание) и пути их устранения.
- Подчеркнуть значение прессования в стандартизации, стабильности и удобстве дозирования фармацевтической продукции.

Тезисы

Введение

Механические процессы широко используются в фармацевтической промышленности и играют ключевую роль в формировании физических свойств лекарственных форм. Одним из наиболее важных процессов является **прессование**, которое обеспечивает получение твёрдых дозированных форм, таких как таблетки и брикеты. Процесс прессования позволяет точно дозировать активные вещества и придать продукту нужную прочность и стабильность.

Что такое механические процессы?

Механические процессы — это технологические операции, основанные на воздействии механических сил на вещество. К ним относятся:

- Измельчение
- Смесеприготовление
- Сортировка
- Прессование
- Компактизация
- Гранулирование (частично)

Эти процессы направлены на изменение формы, структуры и физико-механических свойств материалов.

Прессование: определение и назначение

Прессование — это процесс формирования твёрдого тела путём приложения давления к сыпучему или пластичному материалу в ограниченном объёме (матрице). В фармацевтической практике под прессованием чаще всего понимают таблетирование — формование таблеток из порошкообразных смесей.

Основные цели прессования:

- Формирование определённой формы и массы дозы
 - Уплотнение материала и улучшение прочностных характеристик
 - Обеспечение дозирования действующего вещества
 - Улучшение удобства применения и транспортировки
- Физическая сущность процесса прессования

Процесс проходит несколько стадий:

1. **Засыпка** порошка в матрицу
2. **Уплотнение** частиц под действием давления
3. **Связывание** частиц за счёт межмолекулярных, механических или физико-химических взаимодействий
4. **Формирование прочного тела (таблетки)**
5. **Извлечение** из матрицы

Виды прессования

- **Статическое прессование** — длительное воздействие давления, часто используется при получении брикетов
- **Динамическое прессование** — кратковременное, ударное воздействие (например, в таблеточных машинах)
- **Изостатическое прессование** — равномерное давление со всех сторон
- **Гидравлическое и механическое прессование** — по типу привода

Оборудование для прессования

Ручные и настольные таблеточные прессы

Для лабораторных и малых производств

Роторные таблеточные машины

Производительные, многопуансионные устройства для выпуска массовых серий таблеток.

Особенности:

- Высокая скорость
- Автоматическое регулирование массы таблетки
- Система удаления пыли и охлаждения

Прессы для компактизации и брикетирования

Применяются при предварительном уплотнении сыпучих порошков

Факторы, влияющие на процесс прессования

- Размер и форма частиц порошка
 - Влажность материала
 - Наличие связующих веществ
 - Поверхностные свойства компонентов
 - Давление прессования
 - Время воздействия
- Проблемы при прессовании
- Расслоение таблеток
 - Недостаточная прочность
 - Налипание на пуансоны
 - Изменение биодоступности действующего вещества

- Неполное выталкивание из матрицы

Решаются путём оптимизации состава, гранулирования, смазывания и изменения параметров машины.

Применение в фармацевтике

Прессование используется для производства:

- Таблеток (одно- и многослойных)
- Компактных брикетов экстрактов
- Прессованных порошков и дезинтеграторов
- Контролируемо высвобождаемых форм

Заключение

Прессование — это важный механический процесс, обеспечивающий формирование дозированных твёрдых форм с нужными физико-химическими и технологическими свойствами. Успешное применение прессования зависит от правильного выбора параметров, состава и оборудования.

Контрольные вопросы

- 1 Что такое механические процессы в фармацевтическом производстве? Приведите примеры.
- 2 Дайте определение процессу прессования.
- 3 Каковы основные цели и задачи прессования в фармацевтической технологии?
- 4 Какие стадии включает процесс прессования?
- 5 Чем отличается статическое прессование от динамического?
- 6 Какова физическая сущность процесса уплотнения порошка при прессовании?
- 7 Какие типы оборудования используются для прессования лекарственных форм?
- 8 В чём особенности конструкции роторной таблеточной машины?
- 9 Какие параметры влияют на качество получаемой таблетки при прессовании?
- 10 Какие вспомогательные вещества улучшают прессуемость порошков?
- 11 Назовите возможные дефекты при прессовании и причины их возникновения.
- 12 Какие требования предъявляются к порошкам, предназначенным для прессования?

Литература

- 1) Мантлер С. Н. Химиялық технологияның процестері және аппараттары : оқулық / С. Н. Мантлер, Ф. М. Жуманазарова. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256
- 2) Мантлер С. Н. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / Г. М. Жуманазарова. - МОН РК. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256 с
- 3) Арыстанбаев К. Е. Системы управления химико - технологическими процессами : учебное пособие / К. Е. Арыстанбаев, А. Б. Жумабекова, А. А. Умаров. - Алматы : Эверо, 2020. - 128 с
- 4) Орымбетов Ә.М. Химия – фармацевтикалық өндірітін процесстері мен аппараттары. Оқулық Шымкент, ОҚМА АҚ, 2023. - 370 б.
- 5) Химия өндірісінің негізгі процестері мен аппараттары: Зертханалық практикум: оқуқұралы / Ш. Ш. Нұрсейітов. - Алматы :Эверо, 2014. - 140 бет

Электронные ресурсы

ОНТҮСТИК ҚАЗАҚСТАН MEDISINA АКАДЕМИЯСЫ «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ	 SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра «Инженерные дисциплины»	76-11 Стр. 41 из 41
Лекции по дисциплине «Процессы и аппараты химико-фармацевтического производства-1»	

1. Электронная библиотека ЮКМА - <https://e-lib.skma.edu.kz/genres>
2. Республикаанская межвузовская электронная библиотека (РМЭБ) – <http://rmebrk.kz/>
3. Цифровая библиотека «Aknurpress» - <https://www.aknurpress.kz/>
4. Электронная библиотека «Эпиграф» - <http://www.elib.kz/>
5. Эпиграф - портал мультимедийных учебников <https://mbook.kz/ru/index/>
6. ЭБС IPR SMART <https://www.iprbookshop.ru/auth>
7. информационно-правовая система «Зан» - <https://zan.kz/ru>
8. Medline Ultimate EBSCO
9. eBook Medical Collection EBSCO
10. Scopus - <https://www.scopus.com/>

Электронные учебники

- 1) Фармацевттік өндірістің процестері және аппараттары: дәріс кешені. -Ш.,2023 https://base.ukgfa.kz/?wpfb_dl=29955
- 2) Процессы и аппараты химико-фармацевтического производства: лекц. комплекс.- Ш.,2023 https://base.ukgfa.kz/?wpfb_dl=29966
- 3) Арыстанбаев, К. Е. Системы управления химико-фармацевтическими процессами [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов по специальности "Технология фармацевтического производства". - Электрон. текстовые дан.(6,85 МБ). - Шымкент : ОҚМА, 2018. - 109 с. әл
- 4) Химия өндірістерінің процестері мен аппараттары: Оку құралы. / Ш.Ш. Нұрсейитов, Қ.Ж. Керімқұлов, Е.Т. Шертаев; Казақ технология және бизнес университеті. - Астана: Дәме, 2014. - 1776. РМЭБ/ <http://rmebrk.kz/book/11726915>
- 6) Арыстанбаев, К. Е. Химия - технологиялық үдерістерді басқару жүйесі [Электронный ресурс] : оку құралы / Арыстанбаев К. Е., Мамбаева А. М. . - Электрон. текстовые дан. (3, 205 КБ). - Шымкент : ОҚМА, 2022.
- 7) Химиялық процестер технологиясы: Оқулық. / Ж.А. Моулжин, М. Макки, А.Е. Ван Диепен, ағыл. тіл. ауд. Ж. Сүйесінова т.б.; КР Білім және ғылым министрлігі, - 2 басылым - Алматы, 2016. - 5686. <http://rmebrk.kz/book/1165064>
- 8) Бородулин, Д. М. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / Д. М. Бородулин, В. Н. Иванец. — Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2007. — 168 с. — ISBN 978-5-89289-435-7. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/14388.html>
- 9) Процессы и аппараты химической технологии : методические указания к самостоятельной работе / составители А. Ш. Бикбулатов [и др.]. — Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2014. — 72 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/62571>