

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ	 SKMA -1979-	SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казакстанская медицинская академия»
Кафедра «Инженерные дисциплины»	76-11	
«Процессы и аппараты химико-фармацевтического производства-1»	64 беттің 1 беті	

ЛЕКЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС

Дисциплина: Процессы и аппараты химико-фармацевтического производства-1

Код дисциплины: РАНФР 2201-1

Название ОП: «6В0720100 - Технология фармацевтического производства»

Объем учебных часов/кредитов: 180/6

Курс и семестр изучения: 2 курс и 3 семестр

Объем лекции: 12 часов

Шымкент, 2024 г

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ	 SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казakhstanская медицинская академия»
Кафедра «Инженерные дисциплины»	76-11
«Процессы и аппараты химико-фармацевтического производства-1»	64 беттің 2 беті

Лекционный комплекс разработан в соответствии с рабочей учебной программой дисциплины (силлабусом) «Моделирование химико-технологических процессов» и обсуждена на заседании кафедры.

Протокол № ____ « ____ » _____ 2024 г.

Зав.кафедрой, к.т.н. доцент

Орымбетова Г.Э.

OÑTÚSTIK QAZAQSTAN MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ	 SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казakhstanская медицинская академия»
Кафедра «Инженерные дисциплины»	76-11
«Процессы и аппараты химико-фармацевтического производства-1»	64 беттің 3 беті

Лекция № 1

1. Тема 1: Введение. Предмет и задачи курса. Классификация основных процессов фармацевтического производства. Кинетические закономерности основных процессов. Общие принципы расчета аппаратов и машин, статика процессов (законы равновесия).

2. Цель: Ознакомиться с классификацией основных процессов фармацевтического производства, общими принципами расчёта процессов и аппаратов, основным уравнением процессов.

3. Тезисы лекции:

1. Классификация основных процессов фармацевтического производства.
2. Общие принципы расчёта процессов и аппаратов.
3. Основное уравнение процесса.

Краткое содержание лекции

Производство в фармацевтической промышленности состоит из серии последовательных процессов, в каждом из которых вещества претерпевают химические или физические изменения. Технологии получения самых разнообразных химических продуктов и материалов включает однотипные процессы, характеризующиеся общим закономерностями. Эти процессы в различных производствах проводятся в аналогичных по принципу действия аппаратах.

В фармацевтической технологии основные процессы по своей природе разделяются на пять классов:

1. Гидромеханические процессы.
2. Тепловые процессы.
3. Массообменные процессы.
4. Механические процессы
5. Химические процессы.

К гидромеханическим процессам относятся перемещение жидкостей, сжатие и перемещение газов, разделение жидких и газовых неоднородных систем в поле сил тяжести (отстаивание) и в поле центробежных сил (центрифугирование), разделение под действием разности давлений при движении через пористый слой (фильтрование), а также перемешивание жидкостей.

Тепловые процессы определяются законами передачи тепла. Тепловые процессы, это нагревание, охлаждение, выпаривание и конденсация паров. Скорость тепловых процессов во многом зависит от гидродинамических условий при которых осуществляется перенос тепла между обменивающимися теплом средами.

Массообменным (диффузионные) процессы характеризуются переносом одного или нескольких компонентов исходной смеси из одной фазы в другую через поверхность раздела фаз. К этой группе процессов описываемых законами массопередачи, относятся абсорбция, перегонка (ректификация), экстракция из растворов, растворение и экстракция из пористых твёрдых тел, кристаллизация, адсорбция и сушка.

Химические и биохимические процессы протекают со скоростью, определяемой законами химической кинетики.

Механические процессы применяются в основном для подготовки исходных твёрдых материалов и обработки конечных твёрдых продуктов. К таким процессам относятся измельчение, транспортировка, сортировка (классификация) и смешение сыпучих веществ.

По способу организации процессы делятся на периодические и непрерывные. В периодическом процессе исходные вещества загружаются в аппарат, а после их обработки из аппарата выгружаются конечные продукты. Затем процесс повторяется. Непрерывные процессы осуществляются в проточных аппаратах. Поступление исходных материалов и выгрузка конечных продуктов производятся одновременно и непрерывно.

Целью расчётов по процессам и аппаратам обычно является: 1) определение условий предельного (равновесного) состояния системы; 2) определение расходов исходных материалов и количеств получаемых продуктов, а также количеств потребляемой энергии и расхода теплоносителей; 3) определение оптимальных режимов работы, рабочей поверхности или объёма аппаратов; 4) определение основных размеров аппаратов.

Исходным этапом расчёта является обычно анализ статики процесса т.е. рассмотрение данных о равновесии в системе, на основе которых определяют направление процесса и возможные пределы его

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ	 SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра «Инженерные дисциплины»	76-11
«Процессы и аппараты химико-фармацевтического производства-1»	64 беттің 4 беті

осуществления. Затем составляются материальные и тепловые (энергетические) балансы системы, исходя из законов сохранения массы и энергии.

Следующий этап – это расчёт кинетики процесса, определяющей скорость его протекания. Определив скорость и величину движущей силы процесса при выбранном режиме работы аппарата находят его рабочую поверхность или объём. После этого определяют основные размеры аппарата.

Все процессы могут протекать только под действием некоторой движущей силы, характеризующей степень отклонения системы от равновесного состояния. Движущей силой гидромеханических процессов является разность давлений, тепловых – разность температур, массообменных – разность концентраций.

Основное уравнение процесса может быть записано двумя способами:

$$M = K_F F \Delta t \quad ; \quad M = K_V V \Delta t$$

Здесь: M – количество переносимой субстанции (тепла или вещества); K_F , K_V – коэффициенты скорости процесса (это могут быть коэффициент теплопередачи или массопередачи) поверхностный или объёмный.

4. Иллюстративный материал: Плакаты с изображениями основных аппаратов

5. Литература:

Основная:

- 1) В.И. Чуешов, Е.В. Гладух, И.В. Сайко. Технология лекарств промышленного производства. Ч. 1. – Винница: Нова книга, 2014. -696 с.
- 2) В.И. Чуешов, Е.В. Гладух, И.В. Сайко. Технология лекарств промышленного производства. Ч. 2. –Винница: Нова книга, 2014. -664 с.
- 3) Промышленная технология лекарств, Том 1. Под ред. Чуешова В.И. – Х.: МТК-Книга, Издательства НФАУ, 2002 – 560 с.
- 4) Промышленная технология лекарств, Том 2. Под ред. Чуешова В.И. – Х.: МТК-Книга, Издательства НФАУ, 2002 – 557 с.
- 5) Мантлер С. Н. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / С. Н. Мантлер, Г. М. Жуманазарова. - Министерство образования и науки Республики Казахстан. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256 с
- 6) Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: В двух томах / Ю.И. Дытнерский. — М.: Альянс, 2015. — 368 с.
- 7) Дытнерский, Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию: Учебное пособие для вузов / Ю.И. Дытнерский, Г.С. Борисов, В. Брыков. - М.: Альянс, 2015. - 496 с.
- 8) Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов / А.Г. Касаткин. - М.: Альянс, 2014. - 752 с.
- 9) Остриков А.Н. Процессы и аппараты. Расчет и проектирование аппаратов для тепловых и тепломассообменных процессов: Учебное пособие / А.Н. Остриков, В.Н. Василенко и др. - СПб.: Лань, 2018. - 440 с.
- 10) Алексеев, Г.В. Виртуальный лабораторный практикум по курсу «Процессы и аппараты пищевых производств»: Уч. Пособие / Г.В. Алексеев, И.И.

Дополнительная:

- 11) Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: КолосС, 2008. – 760 с.
- 12) Кавецкий Г.Д. Процессы и аппараты пищевой технологии. - М.: Колос, 2000.
- 13) Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии - Л.: Химия, 1987
- 14) Государственная Фармакопея Республики Казахстан. – том 1 – Алматы. – Издательский дом: «Жибек жолы».– 2008.– 592 с.
- 15) Государственная Фармакопея Республики Казахстан.– том 2. – Алматы.– Издательский дом: «Жибек жолы».– 2009. – 792 с.
- 16) Сағындықова Б.А. Дәрілердің өндірістік технологиясы.– Алматы.–2011.– 346 б.
- 17) Ақбердиев Ә.С. Тамақ өндірісінің процестері және аппараттары, Алматы; 1998 ж.

6. Контрольные вопросы (обратная связь)

- 1) Поясните понятие - «аппарат».
- 2) Понятия стационарного и нестационарного процессов
- 3) Классификация процессов по кинетическим закономерностям.
- 4) Принцип составления материальных и энергетических балансов.
- 5) Требования к аппаратам
- 6) Основное уравнение теплопередачи.

Лекция № 2

1. Тема 2: Основы гидравлики. Гидростатика. Основные определения: жидкость, некоторые физические свойства жидкостей (плотность, давление, вязкость, поверхностное натяжение). Основное уравнение гидростатики.

2. Цель: Ознакомление с основными физическими свойствами жидкостей и изучение методики применения основных уравнений гидростатики.

3. Тезисы лекции:

- 1) Основные физические свойства жидкостей.
- 2) Основное уравнение гидростатики.
- 3) Практические приложения основного уравнения гидростатики.

Краткое содержание лекции

Гидравлика состоит из двух разделов: гидростатики и гидродинамики. Гидростатика рассматривает законы равновесия в состоянии покоя, а гидродинамика – законы движения жидкостей и газов. В гидравлике принято объединять жидкости, газы и пары под единым наименованием – жидкости.

Плотность и удельный вес. Масса единицы объема жидкости называется плотностью и обозначается через ρ

Вес объема жидкости называется удельным весом γ :

Давление. Отношение силы давления ΔF к элементарной площадке ΔF $\Delta P / \Delta F$ называют силой гидростатического давления.

Между давлением и единицы высоты столба существует связь:

$$P = \gamma \cdot H \tag{1.7}$$

Абсолютное давление $P_{абс}$:

$$P_{абс} = P_{изб} + P_{атм} \tag{1.8}$$

$$P_{абс} = P_{атм} - P_{вак} \tag{1.9}$$

Вязкость. Свойство жидкости оказывать сопротивление усилиям, вызывающим относительное перемещение ее частиц, называется вязкостью.

Гидростатика. Дифференциальные уравнения равновесия Эйлера

В объеме покоящейся жидкости рассматривается параллелепипед с объемом dV и ребрами dx, dy и dz .

Условия равновесия элементарного параллелепипеда выражается системой уравнения:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\partial P}{\partial x} &= 0 \\ -\frac{\partial P}{\partial y} &= 0 \\ -\rho g - \frac{\partial P}{\partial z} &= 0 \end{aligned} \right\} \tag{1.13}$$

Уравнения (1.13) представляют собой дифференциальные уравнения Эйлера.

Основное уравнение гидростатики. Из уравнений (1.13) следует, что давление в покоящейся жидкости изменяется только по вертикали. Частная производная $\frac{dP}{dx}$ может быть заменена на $\frac{dP}{dx}$ и следовательно

$$-\rho g - \frac{dP}{dz} = 0$$

Отсюда $-dP - \rho g dz = 0 \tag{1.14}$

Разделив левую и правую части на ρg и переменяя знаки получим

$$dz + \frac{1}{\rho g} dP = 0$$

Для несжимаемой жидкости плоскость постоянна, следовательно

$$dz + d\left(\frac{P}{\rho g}\right) = 0$$

или

$$d\left(z + \frac{P}{\rho g}\right) = 0$$

Откуда после интегрирования получим:

$$z + \frac{P}{\rho g} = const \quad (1.16)$$

Уравнение (1.16) является основным уравнением гидростатики.

Где z_1, z_2 – нивелирные высоты расположения двух точек, а

P_1, P_2 – гидростатические давления в этих точках.

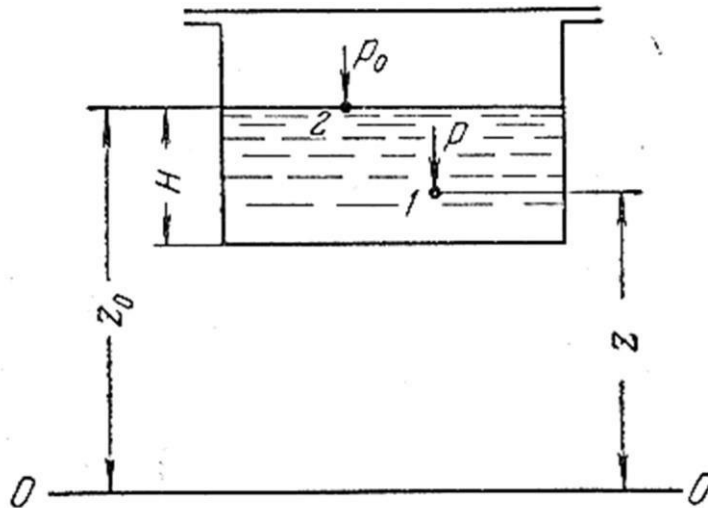


Рис. 2.1 К основному уравнению гидростатики

Рассмотрим две частицы жидкости, 1 внутри жидкости на высоте z от плоскости $O-O$, 2 на поверхности жидкости на высоте z_0 от той же поверхности. P и P_0 – давления в этих точках.

Согласно уравнению (1.16)

$$z + \frac{P}{\rho g} = z_0 + \frac{P_0}{\rho g} \quad (1.17)$$

или
$$\frac{P - P_0}{\rho g} = z_0 - z \quad (1.18)$$

Величину $\frac{P}{\rho g}$ называют статическим или пьезометрическим напором.

Давление жидкости на плоскую наклонную стенку

Пусть мы имеем резервуар с наклонной правой стенкой, заполненный жидкостью с удельным весом γ . Ширина стенки в направлении, перпендикулярном плоскости чертежа (от читателя), равна b (рис.2.3). Стенка условно показана развернутой относительно оси AB и заштрихована на рисунке. Построим график изменения избыточного гидростатического давления на стенку AB .

Так как избыточное гидростатическое давление изменяется по линейному закон $P=\gamma gh$, то для построения графика, называемого эпюрой давления, достаточно найти давление в двух точках, например A и B .

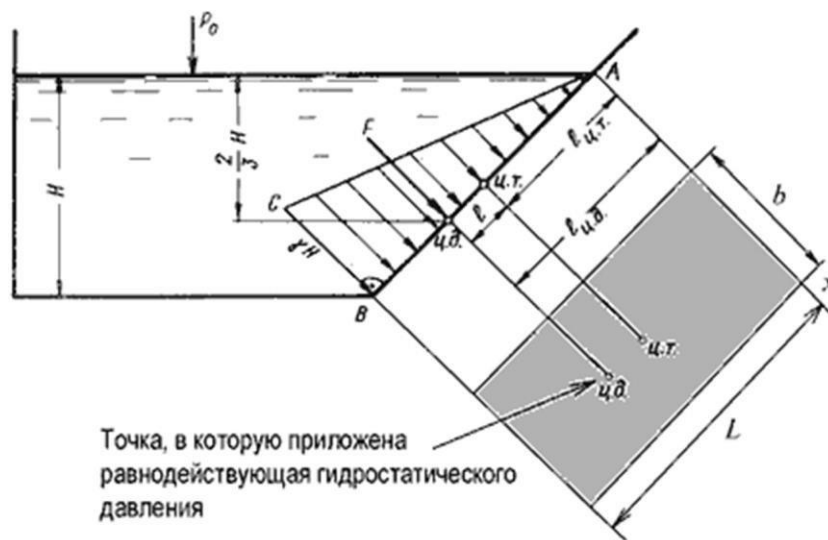


Рис. 2.2. Схема к определению равнодействующей гидростатического давления на плоскую поверхность

Избыточное гидростатическое давление в точке A будет равно

$$P_A = \gamma h = \gamma \cdot 0 = 0$$

Соответственно давление в точке B :

$$P_B = \gamma h = \gamma H$$

где H - глубина жидкости в резервуаре.

Согласно первому свойству гидростатического давления, оно всегда направлено по нормали к ограждающей поверхности. Следовательно, гидростатическое давление в точке B , величина которого равна γH , надо направлять перпендикулярно к стенке AB . Соединив точку A с концом отрезка γH , получим треугольную эпюру распределения давления ABC с прямым углом в точке B . Среднее значение давления будет равно

$$\frac{\gamma H + 0}{2} = \frac{\gamma H}{2}$$

Если площадь наклонной стенки $S = bL$, то равнодействующая гидростатического давления равна

$$F = \frac{\gamma H}{2} S = \gamma S h_c$$

где $h_c = H/2$ - глубина погружения центра тяжести плоской поверхности под уровень жидкости.

Однако точка приложения равнодействующей гидростатического давления ц.д. не всегда будет совпадать с центром тяжести плоской поверхности. Эта точка находится на расстоянии l от центра тяжести и равна отношению момента инерции площадки относительно центральной оси к статическому моменту этой же площадки.

$$l = \frac{J_{Ax}}{l_{\text{ц.т.}} S}$$

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН MEDISINA АКАДЕМИЯСЫ «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ	 SKMA -1979-	SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра «Инженерные дисциплины»	76-11	
«Процессы и аппараты химико-фармацевтического производства-1»	64 беттің 8 беті	

где J_{Ax} - момент инерции площади S относительно центральной оси, параллельной Ax .

В частном случае, когда стенка имеет форму прямоугольника размерами bL и одна из его сторон лежит на свободной поверхности с атмосферным давлением, центр давления ц.д. находится на расстоянии $b/3$ от нижней стороны.

4. Иллюстративный материал: Виртуальные стенды. Плакаты с изображениями основных аппаратов

5. Литература:

Основная:

- 1) В.И. Чуешов, Е.В. Гладух, И.В. Сайко. Технология лекарств промышленного производства. Ч. 1. – Винница: Нова книга, 2014. -696 с.
- 2) В.И. Чуешов, Е.В. Гладух, И.В. Сайко. Технология лекарств промышленного производства. Ч. 2. –Винница: Нова книга, 2014. -664 с.
- 3) Промышленная технология лекарств, Том 1. Под ред. Чуешова В.И. – Х.: МТК-Книга, Издательства НФАУ, 2002 – 560 с.
- 4) Промышленная технология лекарств, Том 2. Под ред. Чуешова В.И. – Х.: МТК-Книга, Издательства НФАУ, 2002 – 557 с.
- 5) Мантлер С. Н. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / С. Н. Мантлер, Г. М. Жуманазарова. - Министерство образования и науки Республики Казахстан. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256 с
- 6) Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: В двух томах / Ю.И. Дытнерский. — М.: Альянс, 2015. — 368 с.
- 7) Дытнерский, Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию: Учебное пособие для вузов / Ю.И. Дытнерский, Г.С. Борисов, В. Брыков. - М.: Альянс, 2015. - 496 с.
- 8) Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов / А.Г. Касаткин. - М.: Альянс, 2014. - 752 с.
- 9) Остриков А.Н. Процессы и аппараты. Расчет и проектирование аппаратов для тепловых и теплообменных процессов: Учебное пособие / А.Н. Остриков, В.Н. Василенко и др. - СПб.: Лань, 2018. - 440 с.
- 10) Алексеев, Г.В. Виртуальный лабораторный практикум по курсу «Процессы и аппараты пищевых производств»: Уч. Пособие / Г.В. Алексеев, И.И.

дополнительная:

- 11) Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: КолосС, 2008. – 760 с.
- 12) Кавецкий Г.Д. Процессы и аппараты пищевой технологии. - М.: Колос, 2000.
- 13) Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии - Л.: Химия, 1987
- 14) Государственная Фармакопея Республики Казахстан. – том 1 – Алматы. – Издательский дом: «Жибек жолы».– 2008.– 592 с.
- 15) Государственная Фармакопея Республики Казахстан.– том 2. – Алматы.– Издательский дом: «Жибек жолы».– 2009. – 792 с.
- 16) Сағындықова Б.А. Дәрілердің өндірістік технологиясы.– Алматы.–2011.– 346 б.
- 17) Акбердиев Ә.С. Тамақ өндірісінің процестері және аппараттары, Алматы; 1998 ж.

6. Контрольные вопросы (обратная связь)

1. Какими свойствами обладает жидкость?
2. Как определить абсолютное давление в сосуде?
3. Что выражает основное уравнение гидростатики?
4. Как определить силу давления на вертикальную стенку?

Кафедра инженерных дисциплин		Сәйкес номері 64 беттің 9 беті
Лекционный комплекс		

Лекция № 3

1. Тема 3: Гидродинамика.

2. **Цель:** Ознакомление с основными характеристиками движения жидкости, дифференциальными уравнениями движения жидкости, уравнением Бернулли.

3. Тезисы лекции:

- 1) Основные характеристики движения жидкости.
- 2) Дифференциальные уравнения движения жидкости
- 3) Уравнение Бернулли.

Краткое содержание лекции

Основные характеристики движения жидкостей Количество жидкости протекающей через поперечное сечение потока в единицу времени, называют расходом жидкости. Различают объемный расход ($m^3/сек$) и массовый расход ($кг/сек$).

Поскольку в разных точках поперечного сечения потока скорость частиц жидкости неодинакова и ее распределение неизвестно в расчетах обычно используют не истинные скорости, а фиктивную скорость. Эта скорость выражается отношением объемного расхода жидкости ($V_{сек}$) к площади поперечного сечения (S):

$$W_{\phi} = \frac{V_{сек}}{S} \quad (м/сек) \quad (2.24)$$

Откуда объемный расход

$$V_{сек} = W \cdot S \quad (2.25)$$

Массовый расход определяется произведением

$$M = \rho \varpi S \quad (2.25, a)$$

Гидравлический радиус и эквивалентный диаметр

При движении жидкости через площадь поперечного сечения любой формы, отличают от круглой в качестве диаметра принимают гидравлический радиус или эквивалентный диаметр.

Гидравлический радиус (r_r) это отношение площади свободного сечения канала, через которое протекает жидкость, к смоченному периметру.

$$r_r = \frac{S}{\Pi} \quad (м) \quad (2.26)$$

Для круглого сечения $S = \frac{\pi d^2}{4}$; $\Pi = \pi d$

$$\text{Тогда } r_r = \frac{\frac{\pi d^2}{4}}{\pi d} = \frac{d}{4}$$

Диаметр, выраженный через гидравлический радиус, представляет собой эквивалентный диаметр.

$$d = d_s = 4r_r \quad (2.27)$$

Следовательно согласно уравнению (2.26)

$$d_s = \frac{4S}{\Pi}$$

Для прямоугольного сечения

$$r_r = \frac{S}{\Pi} = \frac{a\vartheta}{2a + 2\vartheta} = \frac{a\vartheta}{2(a + \vartheta)}$$

а эквивалентный диаметр

$$d_s = 4r_r = \frac{4a\vartheta}{2a + 2\vartheta} = \frac{2a\vartheta}{a + \vartheta}$$

Кафедра инженерных дисциплин		Сәйкес номері 64 беттің 10 беті
Лекционный комплекс		

Для кольцевого сечения

$$d = \frac{4S}{\pi} = \frac{4(\frac{\pi d_n^2}{4} - \frac{\pi d_e^2}{4})}{\pi d_n + \pi d_e} = \frac{d_n^2 - d_e^2}{d_n + d_e} = d_n - d_e$$

Для круглой трубы $d_n = d_e$

Режимы течения жидкости. Движение, при котором все частицы жидкости движутся по направленным траекториям, называют ламинарным.

Неупорядоченное движение, при котором отдельные частицы жидкости движутся по запутанным, хаотическим траекториям, называют турбулентными.

Переход от ламинарного к турбулентному режиму, происходит тем легче, чем больше массовая скорость жидкости ρw и диаметр трубы d и чем меньше вязкость μ .

Впервые Рейнольдс объединил эти величины в безразмерный комплекс, численное значение которого позволяет судить о режиме движения жидкости. Этот комплекс носит название критерия Рейнольдса.

$$Re = \frac{Wd\rho}{\mu} \quad (2.28)$$

Критерий Re является мерой соотношения между силами инерции и вязкости в движущемся потоке. Отношение $\frac{Wd\rho}{\mu} = \frac{\rho Wd}{\nu}$ кинематическая вязкость, тогда

$$Re = \frac{Wd}{\nu} \quad (2.29)$$

При $Re < 2320$ – область устойчивого ламинарного движения.

При $2320 < Re < 10\,000$ переходный режим и при $Re > 10\,000$ устойчивый или развитый турбулентный режим.

Дифференциальные уравнения движения идеальной жидкости

В потоке идеальной жидкости возьмем точку M с координатами x, y, z и выделим возле нее элемент жидкости в форме прямоугольного параллелепипеда так, чтобы точка M была одной из его вершин (Рис. 20). Ребра параллелепипеда параллельны координатным осям и равны dx, dy, dz . Составим уравнение движения этого элемента жидкости. Пусть на жидкость внутри него действует результирующая единичная массовая сила с составляющими X, Y и Z . Тогда массовые силы, действующие на выделенный объем будут равны этим составляющим, умноженным на массу элемента. Поверхностные силы будут равны давлениям, умноженным на площади граней параллелепипеда.

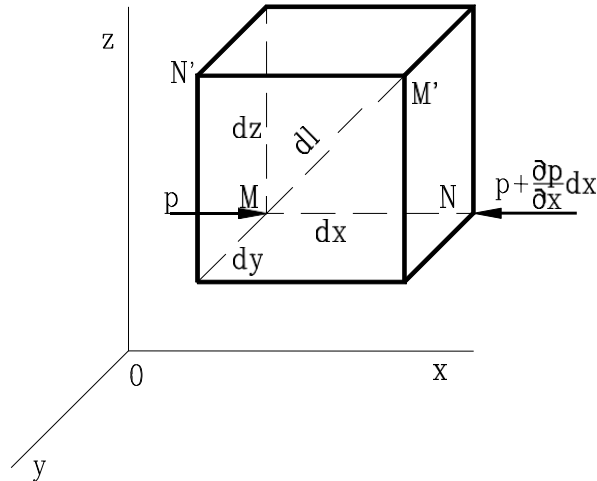


Рис. 20. Схема для вывода дифференциальных уравнений движения идеальной жидкости.

Согласно второму закону Ньютона, уравнения движения вдоль координатных осей примут вид:

$$\rho dx dy dz \frac{dV_x}{dt} = X \rho dx dy dz + p dy dz - \left(p + \frac{\partial p}{\partial x} dx \right) dy dz;$$

$$\rho dx dy dz \frac{dV_y}{dt} = Y \rho dx dy dz + p dx dz - \left(p + \frac{\partial p}{\partial y} dy \right) dx dz;$$

$$\rho dx dy dz \frac{dV_z}{dt} = Z \rho dx dy dz + p dx dy - \left(p + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right) dx dy.$$

Приведем подобные и разделив уравнения на массу элемента $\rho dx dy dz$, получим

$$\frac{dV_x}{dt} = X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x};$$

$$\frac{dV_y}{dt} = Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y};$$

$$\frac{dV_z}{dt} = Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z}.$$

Эта система дифференциальных уравнений движения идеальной жидкости носит название уравнений Эйлера. Все члены этих уравнений имеют размерность ускорений, а смысл каждого уравнения состоит в следующем: полное ускорение частицы вдоль координатной оси складывается из ускорения от массовых сил и ускорения от сил давления.

Эти уравнения справедливы как для несжимаемой, так и для сжимаемой жидкости, как для стационарного, так и нестационарного течения.

Для стационарного течения умножим каждое из уравнений на соответствующие проекции элементарного перемещения, равные $dx = V_x dt$; $dy = V_y dt$; $dz = V_z dt$, и сложим уравнения. Получим

$$\mathbf{X}dx + \mathbf{Y}dy + \mathbf{Z}dz - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right) = V_x \frac{dV_x}{dx} + V_y \frac{dV_y}{dy} + V_z \frac{dV_z}{dz}.$$

Выражение в скобках – это полный дифференциал давления dp , выражения в правых частях – дифференциалы от половин квадратов проекций скорости:

$$\mathbf{X}dx + \mathbf{Y}dy + \mathbf{Z}dz - \frac{dp}{\rho} = d \left(\frac{V_x^2}{2} \right) + d \left(\frac{V_y^2}{2} \right) + d \left(\frac{V_z^2}{2} \right).$$

или

$$dU = \frac{dp}{\rho} + d \left(\frac{V^2}{2} \right),$$

где U – силовая функция.

Рассмотрим частный случай этого уравнения, когда из массовых сил действует только сила тяжести: $\mathbf{X} = \mathbf{Y} = 0$; $\mathbf{Z} = -g$. Подставляя эти значения, получим:

$$-gdz = \frac{dp}{\rho} + d \left(\frac{V^2}{2} \right),$$

или

$$dz + \frac{dp}{-\rho g} + d \left(\frac{V^2}{2g} \right) = 0.$$

Для идеальной жидкости плотность $\rho = \text{const}$, так как эта жидкость абсолютно несжимаемая. Поэтому предыдущее уравнение можно переписать в виде

$$d \left(z + \frac{p}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} \right) = 0.$$

Следовательно, $z + \frac{p}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} = \text{const}$, то есть мы получили уравнение Бернулли для

элементарной струйки идеальной жидкости.

Уравнение Бернулли. Решение уравнений движения Эйлера приводит к одному из наиболее важных и широко используемых уравнений гидродинамики — уравнению Бернулли. Для любых двух поперечных сечений можно записать уравнение в виде:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{w_2^2}{2g} \quad (2.37)$$

Уравнение (2.37) является уравнением Бернулли для идеальной жидкости.

Величину $\left(z + \frac{p}{\rho g} + \frac{w^2}{2g} \right)$ называют полным гидродинамическим напором.

Следовательно, для всех поперечных сечений установившегося потока идеальной жидкости величина гидродинамического напора остается постоянной.

z — нивелирная высота или геометрический напор (h_r) представляет собой удельную потенциальную энергию положения в данной точке.

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ	 SKMA -1979-	SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казakhstanская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс		Сәйкес номері 64 беттің 13 беті

P

— статический или пьезометрический напор (h_{cm}) характеризует удельную потенциальную энергию давления в данной точке.

$\frac{w^2}{2g}$ — скоростной или динамический напор, характеризующий удельную кинетическую энергию в данной точке.

При установившемся движении сумма потенциальной и кинетической энергии остается неизменной. Поэтому уравнение Бернулли является частным случаем закона сохранения энергии и выражает энергетический баланс потока.

4. Иллюстративный материал: Виртуальные стенды. Плакаты с изображениями основных аппаратов

5. Литература:

Основная:

- 1) В.И. Чуешов, Е.В. Гладох, И.В. Сайко. Технология лекарств промышленного производства. Ч. 1. – Винница: Нова книга, 2014. -696 с.
- 2) В.И. Чуешов, Е.В. Гладох, И.В. Сайко. Технология лекарств промышленного производства. Ч. 2. –Винница: Нова книга, 2014. -664 с.
- 3) Промышленная технология лекарств, Том 1. Под ред. Чуешова В.И. – Х.: МТК-Книга, Издательства НФАУ, 2002 – 560 с.
- 4) Промышленная технология лекарств, Том 2. Под ред. Чуешова В.И. – Х.: МТК-Книга, Издательства НФАУ, 2002 – 557 с.
- 5) Мантлер С. Н. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / С. Н. Мантлер, Г. М. Жуманазарова. - Министерство образования и науки Республики Казахстан. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256 с
- 6) Дытнерский Ю.И Процессы и аппараты химической технологии: В двух томах / Ю.И Дытнерский. — М.: Альянс, 2015. — 368 с.
- 7) Дытнерский, Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию: Учебное пособие для вузов / Ю.И. Дытнерский, Г.С. Борисов, В. Брыков. - М.: Альянс, 2015. - 496 с.
- 8) Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов / А.Г. Касаткин. - М.: Альянс, 2014. - 752 с.
- 9) Остриков А.Н. Процессы и аппараты. Расчет и проектирование аппаратов для тепловых и тепломассообменных процессов: Учебное пособие / А.Н. Остриков, В.Н. Василенко и др. - СПб.: Лань, 2018. - 440 с.
- 10) Алексеев, Г.В. Виртуальный лабораторный практикум по курсу «Процессы и аппараты пищевых производств»: Уч. Пособие / Г.В. Алексеев, И.И.

Дополнительная:

- 11) Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: КолосС, 2008. – 760 с.
- 12) Кавецкий Г.Д. Процессы и аппараты пищевой технологии. - М.: Колос, 2000.
- 13) Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии - Л.: Химия, 1987
- 14) Государственная Фармакопея Республики Казахстан. – том 1 – Алматы. – Издательский дом: «Жибек жолы».– 2008.– 592 с.
- 15) Государственная Фармакопея Республики Казахстан.– том 2. – Алматы.– Издательский дом: «Жибек жолы».– 2009. – 792 с.
- 16) Сағындықова Б.А. Дәрілердің өндірістік технологиясы.– Алматы.–2011.– 346 б.
- 17) Акбердиев Ә.С. Тамақ өндірісінің процестері және аппараттары, Алматы; 1998 ж.

6. Контрольные вопросы (обратная связь)

1. Когда за расчетный линейный размер принимают эквивалентный диаметр?
2. В чем заключается отличие ламинарного движения жидкости от турбулентного?
3. Какую связь устанавливают дифференциальные уравнения Эйлера?
4. Определите составляющие уравнения Бернулли.
5. Что характеризует уравнение Бернулли?

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ	 SKMA -1979-	SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казakhstanская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс		Сәйкес номері 64 беттің 14 беті

Лекция № 4

1. Тема 4: Основы теории подобия и анализа размерностей.

2. Цель: Ознакомление с принципами моделирования, аналогией, теорией подобия, анализом размерностей.

3. Тезисы лекции:

- 1) Принципы моделирования.
- 2) Теория подобия.
- 3) Метод анализа размерностей.

Краткое содержание лекции

1. Виды моделирования

При изучении процесса для ограничения большого потока информации создают его модель, которая отражает отдельные явления изучаемого процесса. Применяют два вида моделирования [1, 2]: физическое и математическое.

При физическом моделировании изучение данного процесса происходит на физической модели. Математическое моделирование предусматривает математическое описание модели изучаемого процесса (в виде математических выражений). При этом физический процесс заменяют алгоритмом, моделирующим его. Затем устанавливают адекватность модели изучаемому процессу. Методы математического моделирования в сочетании с ЭВМ позволяют при относительно небольших материальных затратах изучать различные варианты аппаратурно-технологического оформления процесса, находить оптимальные параметры процесса. При математическом моделировании используют также свойство изоморфности дифференциальных уравнений, которое является отражением единства законов природы и позволяет с помощью однотипных дифференциальных уравнений описать различные по своей физической природе явления. Существует аналогия между процессами, различными по своей сущности: электрическими, гидродинамическими, тепловыми и массообменными. Эти процессы описываются однотипными дифференциальными уравнениями [1]:

- перенос электричества (закон Ома):

$$i = - \frac{1}{R} \frac{dU}{dx};$$

- перенос количества энергии (закон трения Ньютона):

$$r = -\mu \frac{dv}{dx};$$

- перенос вещества (закон Фика):

$$m = -D \frac{dc}{dx};$$

- перенос теплоты (закон Фурье):

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx};$$

где dU/dx , dv/dx , dc/dx , dt/dx – градиенты соответственно напряжения, скорости, концентрации и температуры; здесь i – сила тока; τ – касательное напряжение; m – массовый поток; D – коэффициент диффузии; q – тепловой поток; R – электрическое сопротивление; λ – коэффициент теплопроводности; μ – коэффициент динамической вязкости.

Если ввести соответствующие пересчетные коэффициенты, то любой из перечисленных процессов можно смоделировать переносом электричества. На исследовании электрических моделей основаны работы аналоговых вычислительных машин, позволяющих моделировать физико-химические и биохимические процессы различной природы. Применение принципа аналогии превращает модель в счетно-решающее устройство, что в определенной степени устраняет различие между теоретическим и экспериментальным исследованиями процесса.

2. Теория подобия

Она дает ответ на вопрос, как следует поставить эксперимент и обработать полученные результаты и на какие процессы их можно распространить, установить условия эксперимента, при которых число опытов будет минимальным; определить наименьшее количество измеряемых величин и правильно обработать результаты экспериментов, установить области применимости полученных результатов.

Процессы фармацевтической технологии сложны. В ряде случаев для их математического описания удается составить дифференциальные уравнения, которые, однако, как правило, неразрешимы. Объясняется это тем, что дифференциальное уравнение описывает целый класс процессов, в пределах которого

действуют применяемые законы, и не учитывает частных особенностей отдельных процессов. Чтобы описать частный процесс, дифференциальное уравнение следует дополнить данными, характеризующими этот частный процесс. Такие данные называются условиями однозначности и позволяют из всего класса процессов, описываемого данным дифференциальным уравнением, выделить конкретный единичный процесс.

Если процессы описываются одним и тем же дифференциальным уравнением или системой дифференциальных уравнений при подобных условиях однозначности, такие процессы подобны.

К условиям однозначности относятся геометрические условия, характеризующие размеры и форму аппарата, в котором протекает процесс; физические свойства среды; граничные условия, характеризующие взаимодействия среды с телами, ограничивающими объем, в котором протекает процесс; начальные условия системы, т.е. ее состояние в момент когда начинается изучение процесса.

Подобие условий однозначности включает геометрическое подобие аппаратов, подобие физических величин, временное подобие, подобие граничных и начальных условий.

Геометрическое подобие аппаратов заключается в том, что отношение всех сходственных размеров сравниваемых аппаратов является величиной постоянной. Например, если два аппарата (рисунок 1) геометрически подобны, то

$$H'/H'' = h'/h'' = D'/D'' = d'/d'' = K_1;$$

откуда

$$H' = H'' \cdot K_1; h' = h'' \cdot K_1 \text{ и т.д.,}$$

где K_1 – масштабный коэффициент геометрического подобия.

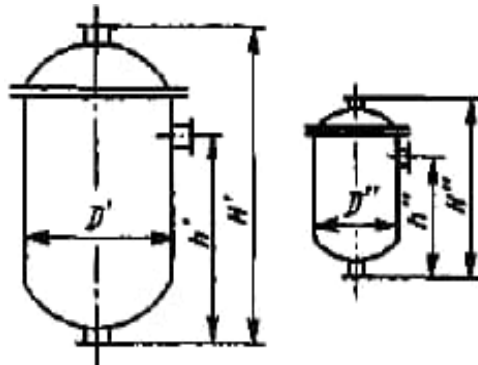


Рисунок 1. Геометрически подобные аппараты

Временное подобие заключается в том, что отношение между интервалами времени завершения аналогичных стадий процесса сохраняется постоянным. Например, продолжительность нагрева смеси до температуры кипения в первом аппарате составляет r'_1 , а во втором – r''_1 . Продолжительность испарения определенного количества воды составляет соответственно r''_2 и r''_2 . Тогда временное подобие процессов

будет характеризоваться соотношением

$$r'_1 / r''_1 = r'_2 / r''_2 = K_\tau, \text{ откуда } r'_1 = K_\tau \cdot r''_1; r'_2 = K_\tau \cdot r''_2,$$

где K_τ – масштабный множитель временного подобия.

Временное подобие процессов называется гомохронностью. В случае, когда $K_\tau = 1$, имеет место синхронность процессов, являющаяся частным случаем гомохронности.

Подобие физических величин имеет место при соблюдении геометрического и временного подобия. В этом случае говорят также о подобии полей физических величин. Например,

$$\rho'_1 / \rho''_1 = \rho'_2 / \rho''_2 = \dots = K_\rho,$$

откуда

$$\rho'_1 = K_\rho \cdot \rho''_1; \rho'_2 = K_\rho \cdot \rho''_2 \text{ и т. д., или}$$

$$\mu'_1 / \mu''_1 = \mu'_2 / \mu''_2 = \mu'_3 / \mu''_3 = \dots = K_\mu,$$

откуда

$$\mu'_1 = K_\mu \cdot \mu''_1; \mu'_2 = K_\mu \cdot \mu''_2 \text{ и т. д.,}$$

где ρ', μ' – значения плотности и вязкости в первом из сравниваемых процессов; ρ'', μ'' – то же во втором процессе; K_ρ и K_μ – масштабные множители соответствующих физических величин (плотности и вязкости), имеющие свое численное значение для каждой физической величины.

OÑTÚSTIK QAZAQSTAN MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ	 SKMA -1979-	SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казakhstanская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс	Сәйкес номері 64 беттің 16 беті	

Поле физической величины называют совокупность мгновенных локальных значений этой величины во всем рабочем объеме, в котором протекает процесс.

Подобие граничных условий заключается в том, что отношение всех значений величин, характеризующих эти условия, для сходственных точек в сходственные моменты времени сохраняется постоянным.

Подобие начальных условий означает, что в начальный момент, когда начинается изучение процесса, соблюдается подобие полей физических величин, характеризующих процесс.

Если все индивидуальные признаки различных процессов, входящих в один класс, подобны, то процессы также подобны, т.е. подобные процессы представляют собой один процесс, протекающий в различных масштабах, так как подобные процессы описываются одинаковыми дифференциальными уравнениями, а индивидуальные признаки процессов (условие однозначности) различаются масштабом.

В каждом подобном процессе комплексы переменных величин могут изменяться в пространстве и во времени, но в любых сходственных точках рабочего объема в сходственные моменты времени эти комплексы принимают одно и то же значение. Безразмерные комплексы, составленные по такому типу, называются критериями подобия или числами подобия.

Получение критериев подобия из дифференциального уравнения сводится к следующим операциям [1]: 1) составляется дифференциальное уравнение процесса; 2) дифференциальное уравнение приводится к безразмерному виду делением обеих частей уравнения на правую или левую часть или делением всех слагаемых на один из членов с учетом его физического смысла; 3) вычеркиваются символы дифференцирования. Символы степеней дифференциалов сохраняются.

Кроме критериев подобия, получаемых из дифференциальных уравнений, используются также параметрические критерии, представляющие собой отношение двух одноименных величин и вытекающие непосредственно из условий задачи исследования. Например, при изучении движения жидкости в канале процесс будет зависеть от соотношения длины трубы и диаметра $l/d=\Gamma_1$ (где Γ – геометрический критерий подобия), относительной шероховатости и диаметра трубы $\Delta/d=\Gamma_2$. Линейный размер, входящий в эти критерии подобия, называется определяющим размером. Все критерии подобия можно разделить на определяющие и определяемые. Определяющие критерии состоят только из физических величин, входящих в условия однозначности. Критерии подобия, в состав которых входит хотя бы одна величина, не входящая в условия однозначности, называются определяемыми.

Для обеспечения подобия необходимо равенство определяющих критериев. Равенство определяющих критериев является достаточным условием подобия. Определяемые критерии являются однозначной функцией определяющих критериев.

Первую теорему подобия можно формулировать так: при подобии процессов равны все критерии подобия.

Вторая теорема подобия (теорема Федермана–Бэкингема) утверждает, что результаты опытов следует представлять в виде зависимостей между критериями. Функциональная зависимость между критериями подобия называется критериальным уравнением. Критериальные уравнения описывают всю группу подобных процессов.

Третья теорема подобия (теорема М.В. Кирпичева, А.А. Гухмана) гласит, что критериальные уравнения применимы только для подобных процессов. Явления подобны, если их определяющие критерии численно равны, а следовательно, равны и определяемые критерии.

В заключение можно констатировать, что исследование процессов методом теории подобия состоит из получения математического описания процесса с помощью дифференциальных уравнений и условий однозначности, преобразования этих дифференциальных уравнений (или дифференциального уравнения), как показано выше, в критериальное уравнение и нахождения конкретного вида этого уравнения на основании экспериментального изучения процесса.

3 Метод анализа размерностей

При изучении многих сложных процессов, например теплообменных процессов в потоках, не всегда удается составить дифференциальное уравнение, описывающее процесс, и сформулировать условия однозначности, поэтому невозможно применить и теорию подобия.

В случаях, когда не удается сформулировать условие однозначности и выделить определяющие и определяемые критерии, но при условии, что в результате экспериментального изучения процесса известно,

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ	 SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс	Сәйкес номері 64 беттің 17 беті

какие физические величины оказывают существенное влияние на процесс, для получения критериальных уравнений применяют метод анализа размерностей.

Рассмотрим применение метода анализа размерностей для вывода критериальных уравнений на примере получения уравнения Дарси – Вейсбаха [1].

На основании экспериментального изучения процесса течения жидкости в трубопроводе известно, что перепад давления зависит от диаметра и длины трубопровода, плотности, вязкости и скорости течения жидкости. Функциональная зависимость в общем виде запишется так:

$$\Delta p = f(d, l, \rho, \mu, v).$$

Единицы измерения всех величин, входящих в эту функциональную зависимость, должны быть выражены в одной системе. Количество критериев в искомом критериальном уравнении можно определить при помощи теоремы Бэкингема, так называемой π -теоремы, согласно которой общая функциональная зависимость, связывающая между собой n переменных величин, при составлении которых использованы τ первичных единиц измерения, может быть представлена в виде критериальной зависимости между $(n-\tau)$ критериями подобия или безразмерными комплексами, составленными из величин, входящих в общую функциональную зависимость.

В приведенную выше функциональную зависимость входят шесть величин ($n=6$), которые в системе СИ имеют следующие единицы измерения и размерности: $[\Delta p] = [H/m^2] = [кг/(м \cdot с^2)] = [FL^{-1}T^{-2}]$; $[d] = [m] = [L]$; $[l] = [m] = [L]$; $[\rho] = [кг/м^3] = [FL^{-3}]$; $[\mu] = [H \cdot c/m^2] = [кг/(м \cdot с)] = [FL^{-1}T^{-1}]$; $[v] = [m/c] = [LT^{-1}]$.

При составлении этих размерностей использованы три первичные единицы измерения ($\tau=3$): м, с, кг. Следовательно, согласно π -теореме общая функциональная зависимость может быть представлена в виде критериального уравнения, содержащего $n-\tau=6-3=3$ критерия подобия.

Представим общую функциональную зависимость в виде степенной функции

$$\Delta p = Ad^a l^b \rho^c \mu^e v^k$$

Заменим величины формулами размерностей этих величин:

$$[FL^{-1}T^{-2}] = [L]^a [L]^b [FL^{-3}]^c [FL^{-1}T^{-1}]^e [LT^{-1}]^k$$

Раскрыв скобки, получим

$$FL^{-1}T^{-2} = L^{a+b-3c-e+k} F^{c+e} T^{-e-k}$$

Приравняем показатели степеней при одинаковых символах размерностей и получим три уравнения с пятью неизвестными:

$$-1 = a + b - 3c - e + k$$

$$1 = c + e$$

$$-2 = -e - k$$

Из второго уравнения $c = 1 - e$, а из третьего $k = 2 - e$. После подстановки c и k в первое уравнение получим $a = -b - e$.

Полученные значения a , c и k подставим в исходное уравнение:

$$\Delta p = Ad^{-b-e} l^b \rho^{1-e} \mu^e v^{2-e}$$

Сгруппируем величины по показателям степеней и получим критериальное уравнение в виде

$$\frac{\Delta p}{\rho v^2} = A \left(\frac{l}{d} \right)^b \left(\frac{\mu}{l d \rho} \right)^e \quad \text{или} \quad Eu = A \cdot \Pi^b \cdot Re^e$$

где Eu – критерий Эйлера; Π – параметрический критерий; Re – критерий Рейнольдса.

Постоянные A , b и e определяются на основании эксперимента. Причем известно, что $b=1$, а A и e зависят от режима движения жидкости в трубопроводе.

4. Иллюстративный материал: Виртуальные стенды. Плакаты с изображениями основных аппаратов

5. Литература:

Основная:

- 1) В.И. Чуешов, Е.В. Гладух, И.В. Сайко. Технология лекарств промышленного производства. Ч. 1. – Винница: Нова книга, 2014. -696 с.
- 2) В.И. Чуешов, Е.В. Гладух, И.В. Сайко. Технология лекарств промышленного производства. Ч. 2. –Винница: Нова книга, 2014. -664 с.
- 3) Промышленная технология лекарств, Том 1. Под ред. Чуешова В.И. – Х.: МТК-Книга, Издательства НФАУ, 2002 – 560 с.
- 4) Промышленная технология лекарств, Том 2. Под ред. Чуешова В.И. – Х.: МТК-Книга, Издательства НФАУ, 2002 – 557 с.
- 5) Мантлер С. Н. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / С. Н. Мантлер, Г. М.

Кафедра инженерных дисциплин

Лекционный комплекс

Сәйкес номері

64 беттің 18

беті

- Жуманазарова. - Министерство образования и науки Республики Казахстан. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256 с
- 6) Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: В двух томах / Ю.И. Дытнерский. — М.: Альянс, 2015. — 368 с.
- 7) Дытнерский, Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию: Учебное пособие для вузов / Ю.И. Дытнерский, Г.С. Борисов, В.Брыков. - М.: Альянс, 2015. - 496 с.
- 8) Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов / А.Г. Касаткин. - М.: Альянс, 2014. - 752 с.
- 9) Остриков А.Н. Процессы и аппараты. Расчет и проектирование аппаратов для тепловых и теплообменных процессов: Учебное пособие / А.Н. Остриков, В.Н. Василенко и др. - СПб.: Лань, 2018. - 440 с.
- 10) Алексеев, Г.В. Виртуальный лабораторный практикум по курсу «Процессы и аппараты пищевых производств»: Уч. Пособие / Г.В. Алексеев, И.И.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ:

- 11) Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: КолосС, 2008. – 760 с.
- 12) Кавецкий Г.Д. Процессы и аппараты пищевой технологии. - М.: Колос, 2000.
- 13) Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии - Л.: Химия, 1987
- 14) Государственная Фармакопея Республики Казахстан. – том 1 – Алматы. – Издательский дом: «Жибек жолы».– 2008.– 592 с.
- 15) Государственная Фармакопея Республики Казахстан.– том 2. – Алматы.– Издательский дом: «Жибек жолы».– 2009. – 792 с.
- 16) Сағындықова Б.А. Дәрілердің өндірістік технологиясы.– Алматы.–2011.– 346 б.
- 17) Ақбердиев Ә.С. Тамақ өндірісінің процестері және аппараттары, Алматы; 1998 ж.

6. Контрольные вопросы (обратная связь)

1. Что такое математическое и физическое моделирование?
2. Что такое поле физической величины?
3. В каком случае используется теория подобия для моделирования процессов?
4. Сформулируйте I теорему подобия.
5. Сформулируйте II теорему подобия.
6. Сформулируйте III теорему подобия.
7. В каком случае используется метод анализа размерностей?

Лекция № 5**1. Тема 5: Гидравлическое сопротивление трубопроводов.**

2. Цель: Определение гидравлических сопротивлений трубопроводов, изучение осаждение частицы под действием силы тяжести.

3. Тезисы лекции:

- 1) Гидравлические сопротивление трубопроводов при ламинарном течении жидкостей.
- 2) Гидравлические сопротивление трубопроводов при турбулентном течении жидкостей.
- 3) Осаждение частицы под действием силы тяжести.

Краткое содержание лекции**Гидравлические сопротивления в трубопроводах.**

Потери в трубопроводе в общем случае обуславливаются сопротивлением трения и местными сопротивлениями. Сопротивление трения существует при движении реальной жидкости по всей длине трубопровода и на его величину оказывает влияние режим течения жидкости.

Местные сопротивления возникают при любых изменениях скорости потока по величине и по направлению. К их числу относятся вход и выход в трубу жидкости, сужения и расширения труб, отводы, колена, тройники и регулирующие устройства. Потерянный напор является суммой двух слагаемых:

$$h_{\Gamma} = h_{TP} + h_{m.c.} \quad (2.52)$$

Согласно уравнению Бернулли, для горизонтального трубопровода ($z_1 = z_2$) ($\varpi_1 = \varpi_2$) напор, теряемый на трение

$$h_{TP} = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} = \frac{\Delta P}{\rho g}$$

Отсюда $\Delta P = h_{TP} \rho g$

При ламинарном движении расход жидкости определяется уравнением Пуазейля:

$$V_{сек} = \frac{\pi d^4 \Delta P}{128 \mu l} \quad (2.53)$$

Подставляя значение ΔP и заменив $V_{сек}$ на $\omega \cdot s = \omega \cdot \frac{\pi d^2}{4}$, получим:

$$\omega \cdot \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi d^4 \rho g h}{128 \mu l}$$

где l и d — длина и диаметр трубы.

Отсюда, после сокращения находим h_{TP} :

$$h_{TP} = \frac{32 \omega \mu l}{\rho g d^2}$$

Умножая числитель и знаменатель на 2ω , получим:

$$h_{TP} = \frac{64 \mu}{\rho d \omega} \cdot \frac{l}{v} \cdot \frac{\omega^2}{2n} = \frac{64}{Re} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\omega^2}{2g}$$

Таким образом, при ламинарном движении по круглой трубе:

$$h_{TP} = \frac{64}{Re} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\omega^2}{2g} \quad (2.54)$$

Величину, показывающую во сколько раз потерь на трение отличается от скоростного напора, называют коэффициентом сопротивления трения ζ_{TP} , а

$$\frac{64}{Re} = \lambda \quad \text{— коэффициент трения} \quad (2.55)$$

Поэтому
$$\zeta_{TP} = \lambda \frac{l}{d} \quad (2.56)$$

Следовательно, уравнение (2.54) может быть записано в виде:

$$h_{TP} = \zeta_{TP} \frac{\omega^2}{2g} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{\omega^2}{2g} \quad (2.57)$$

или для ΔP_{TP} (с учетом, что $\Delta P_{TP} = \rho g h_{TP}$)

$$\Delta P_{TP} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho \omega^2}{2} \quad (2.58)$$

Для квадратного сечения $\lambda = \frac{96}{Re}$

Для кольцевого сечения $\lambda = \frac{96}{Re}$

При турбулентном движении для гладких труб

$$\lambda = 0,316 Re^{-0,25} = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}} \quad (2.59)$$

Абсолютная шероховатость Δ представляет собой среднюю высоту выступов шероховатости на внутренней поверхности труб. Относительная шероховатость ε выражается отношением абсолютной шероховатости Δ к диаметру трубы:

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{d} \quad (2.60)$$

Для всех областей турбулентного движения применимо уравнение:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}} + \frac{0,9}{3,7 + \text{Re}^{0,75}} \quad (2.61)$$

Потери напора в местных сопротивлениях также выражают через скоростной напор. Отношение потери напора на местном сопротивлении $h_{м.с.}$ и скоростному напору $\frac{\omega^2}{2g}$ называют коэффициентом местного сопротивления $\zeta_{м.с.}$. Следовательно, для различных местных сопротивлений: $h_{м.с.1} = \zeta_{м.с.1} \frac{\omega^2}{2g}$;

$$h_{м.с.2} = \zeta_{м.с.2} \frac{\omega^2}{2g}; \quad h_{м.с.3} = \zeta_{м.с.3} \frac{\omega^2}{2g};$$

или суммарная для всех $h_{м.с.}$

$$h_{м.с.} = \sum \zeta_{м.с.} \frac{\omega^2}{2g} \quad (2.62)$$

Общая потеря напора с учетом выражений () и () может быть представлена в виде:

$$h_n = \zeta_{TP} \frac{\omega^2}{2g} + \sum \zeta_{м.с.} \frac{\omega^2}{2g} = \sum \zeta \frac{\omega^2}{2g} \quad (2.63)$$

Таким образом, потеря напора находится по уравнению:

$$h_n = \left(\lambda \frac{L}{d} + \sum \zeta_{м.с.} \right) \frac{\omega^2}{2g} \quad (2.64)$$

Потеря давления (с учетом того, что $\Delta P = \rho g / 2n$):

$$P_n = \left(\lambda \frac{l}{dz} + \sum \zeta_{м.с.} \right) \frac{\rho \omega^2}{2g} \quad (2.65)$$

Осаждение частиц под действием силы тяжести

Скорость, когда ускорение движения частицы в среде равно нулю и частица движется с постоянной скоростью, называется скоростью осаждения.

Сила, движущая шарообразную частицу диаметром d , выражается разностью между её весом и выталкивающей архимедовой силой, равной весу жидкости.

$$\frac{\pi d^3}{6} g (\rho_T - \rho_{ж})$$

Сила сопротивления среды может быть выражена уравнением закона сопротивления:

$$R = \zeta \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\rho \omega^2}{2}$$

Условия равенства сил:

$$\frac{\pi d^3}{6} g (\rho_T - \rho_{ж}) = \zeta \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\rho \omega^2}{2} \quad \text{откуда } \omega_{ос} = \sqrt{\frac{4gd(\rho_T - \rho_{ж})}{3\zeta\rho}}$$

Экспериментально установлено, что коэффициент сопротивления имеет следующие значения при $Re \leq 2$

$$\xi = \frac{24}{Re}$$

при $2 < Re < 500$

$$\xi = \frac{18.5}{Re^{0.6}}$$

а при $500 < Re < 150\,000$ величина коэффициента сопротивления становится постоянной и равной $\xi = 0,44$.

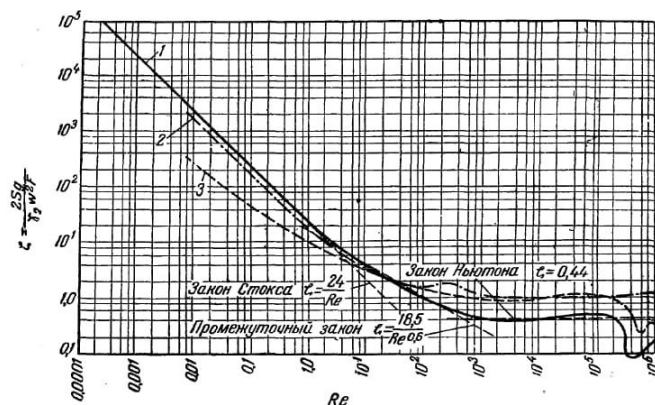


Рисунок 5.1 Зависимость коэффициента сопротивления от числа Рейнольдса.

4. Иллюстративный материал: Виртуальные стенды. Плакаты с изображениями основных аппаратов

5. Литература:

Основная:

- 1) В.И. Чуешов, Е.В. Гладох, И.В. Сайко. Технология лекарств промышленного производства. Ч. 1. – Винница: Нова книга, 2014. -696 с.
- 2) В.И. Чуешов, Е.В. Гладох, И.В. Сайко. Технология лекарств промышленного производства. Ч. 2. –Винница: Нова книга, 2014. -664 с.
- 3) Промышленная технология лекарств, Том 1. Под ред. Чуешова В.И. – Х.: МТК-Книга, Издательства НФАУ, 2002 – 560 с.
- 4) Промышленная технология лекарств, Том 2. Под ред. Чуешова В.И. – Х.: МТК-Книга, Издательства НФАУ, 2002

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ	 SKMA -1979-	SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казakhstanская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс		Сәйкес номері 64 беттің 22 беті

- 557 с.
- 5) Мантлер С. Н. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / С. Н. Мантлер, Г. М. Жуманазарова. - Министерство образования и науки Республики Казахстан. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256 с
 - 6) Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: В двух томах / Ю.И. Дытнерский. — М.: Альянс, 2015. — 368 с.
 - 7) Дытнерский, Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию: Учебное пособие для вузов / Ю.И. Дытнерский, Г.С. Борисов, В. Брыков. - М.: Альянс, 2015. - 496 с.
 - 8) Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов / А.Г. Касаткин. - М.: Альянс, 2014. - 752 с.
 - 9) Остриков А.Н. Процессы и аппараты. Расчет и проектирование аппаратов для тепловых и тепломассообменных процессов: Учебное пособие / А.Н. Остриков, В.Н. Василенко и др. - СПб.: Лань, 2018. - 440 с.
 - 10) Алексеев, Г.В. Виртуальный лабораторный практикум по курсу «Процессы и аппараты пищевых производств»: Уч. Пособие / Г.В. Алексеев, И.И.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ:

- 11) Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: КолосС, 2008. – 760 с.
- 12) Кавецкий Г.Д. Процессы и аппараты пищевой технологии. - М.: Колос, 2000.
- 13) Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии - Л.: Химия, 1987
- 14) Государственная Фармакопея Республики Казахстан. – том 1 – Алматы. – Издательский дом: «Жибек жолы».– 2008.– 592 с.
- 15) Государственная Фармакопея Республики Казахстан.– том 2. – Алматы.– Издательский дом: «Жибек жолы».– 2009. – 792 с.
- 16) Сағындықова Б.А. Дәрілердің өндірістік технологиясы.– Алматы.–2011.– 346 б.
- 17) Ақбердиев Ә.С. Тамақ өндірісінің процестері және аппараттары, Алматы; 1998 ж.

6. Контрольные вопросы (обратная связь)

- 1) Как рассчитывают коэффициент гидравлического сопротивления?
- 2) Перечислите факторы, от которых зависит коэффициент гидравлического сопротивления.
- 3) Как определить коэффициент местного сопротивления?
- 4) Запишите уравнение Дарси – Вейсбаха.
- 5) Какие силы действуют на осаждающуюся частицу?

Лекция № 6

1. Тема 6: Гидродинамика кипящих (псевдооживленных) зернистых слоев.

2. Цель: Ознакомиться с элементами гидродинамики двухфазных потоков и аппаратами с псевдооживленными слоями.

3. Тезисы лекции:

4. Физические основы псевдооживления.
5. Аппараты с псевдооживленным слоем.

Краткое содержание лекции

Псевдооживленным называют такое состояние двухфазной системы, когда твердые частицы перемещаются относительно друг друга за счет подвода энергии от какого либо источника. Псевдооживленный слой образуется при восходящем движении оживающего агента (газа или жидкости) через слой зернистого материала со скоростью, позволяющей поддерживать слой материала во взвешенном состоянии.

Физические основы псевдооживления и расчетные формулы

Рассмотрим образование псевдооживленного слоя. В вертикальном аппарате (рисунок 1), снабженном поперечной перфорированной газораспределительной решеткой, помещен слой тонкодисперсного твердого материала. Оживающий агент – газ подается в нижнюю часть аппарата под газораспределительную решетку. Перепад давления в слое измеряется дифференциальным манометром.

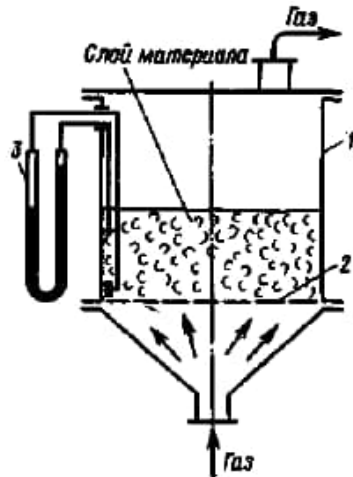


Рисунок 1. Аппарат для псевдоожижения.
1 – корпус; 2 – перфорированная решетка;
3 – манометр

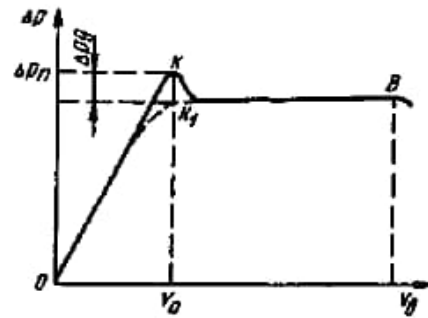


Рисунок 2. Кривая псевдоожижения

Состояние двухфазной системы наглядно изображается в виде кривой псевдоожижения (рисунок 2). Эта кривая выражает зависимость перепада давления в слое Δp от скорости оживающего агента v

$$\frac{\Delta p}{H_0} = f(v),$$

где H_0 – высота неподвижного слоя, м.

При невысоких скоростях газа слой зернистого материала на решетке остается неподвижным, происходит фильтрация газа через слой (кривая ОК на рисунке 2). С увеличением скорости газа перепад давления в слое возрастает и в определенный момент масса зернистого материала в слое уравновешивается аэродинамическим давлением потока газа – наступает аэродинамическое равновесие. В условиях аэродинамического равновесия начинается взаимное пульсационное перемещение частиц. Излом в точке K1 соответствует переходу неподвижного слоя в псевдоожиженное состояние. Абсцисса точки K1 определяет скорость газа, при которой начинается псевдоожижение, а ордината – перепад давления в этой точке. Скорость газа (жидкости) v_0 , при которой слой зернистого материала переходит в псевдоожиженное состояние, называется скоростью начала псевдоожижения (первой критической скоростью). При дальнейшем увеличении скорости газа слой расширяется, интенсивность перемешивания частиц возрастает, но перепад давления остается постоянным. При определенной, так называемой второй критической скорости v_b , или скорости уноса (витания), гидродинамическое равновесие нарушается. Эта скорость является верхним пределом существования псевдоожиженного слоя. При $v > v_b$ частицы уносятся из слоя, в результате этого снижается их массовое количество и уменьшается энергия, необходимая для поддержания твердой фазы во взвешенном состоянии, наступает явление пневмотранспорта. Реальная кривая псевдоожижения несколько отличается от идеальной. Для реальной кривой характерно наличие пика давления Δp_n в момент перехода в псевдоожиженное состояние (точка K), который объясняется затратой дополнительной энергии (перепада давления Δp_g) на преодоление сил сцепления между частицами. Величина пика давления зависит от формы и состояния поверхности частиц. Отношение рабочей скорости к скорости начала псевдоожижения $W = v/v_0$ называется числом псевдоожижения. Число псевдоожижения характеризует состояние псевдоожиженного слоя и интенсивность перемешивания частиц в нем. Характеристики псевдоожиженного слоя зависят от числа псевдоожижения. Псевдоожижение слоя может быть однородным и неоднородным. Для неоднородного псевдоожиженного слоя характерно наличие в слое газовых пузырей (рисунок 3). При небольших числах псевдоожижения неоднородность слоя не сказывается отрицательно на его характеристиках. Движущиеся газовые пузыри интенсифицируют перемешивание частиц в слое. Однако при увеличении числа псевдоожижения неоднородность слоя возрастает: увеличивается размер пузырей, и начинается интенсивный выброс (унос) частиц из слоя. Поперечный

размер пузырей достигает размера аппарата. Возникает так называемый поршневой режим, при котором ухудшается равномерность контакта между газом и частицами материала. При газовом псевдооживлении особенно влажных, мелких и слипающихся частиц может также наблюдаться каналообразование (рисунок 4), при котром часть газа «проскакивает» через слой. Предельным случаем каналообразования является образование фонтанирующего слоя. При фонтанировании поток газа (или жидкости) прорывается через слой по каналу, возникающему вблизи оси аппарата.

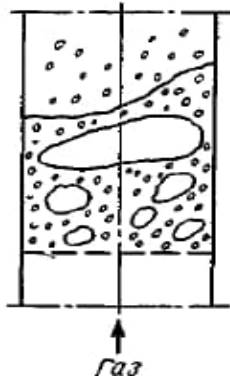


Рисунок 3. Структура неоднородного псевдооживленного слоя

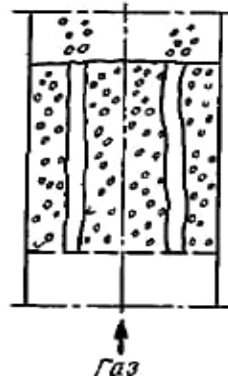


Рисунок 4. Каналообразование в слое

Различают псевдооживление в плотной и разбавленной фазах. Псевдооживление в плотной фазе наблюдается, когда скорость газа находится в пределах между скоростью начала псевдооживления v_0 и скоростью уноса v_b ($v_0 \leq v \leq v_b$). При $v > v_b$ происходит пневмотранспорт частиц из слоя. В этом случае псевдооживленный слой находится в разбавленной фазе. В пределе разбавленная фаза существует, когда хотя бы одна частица находится в газовом потоке.

Для создания и поддержания в псевдооживленном состоянии слоя твердых частиц требуются затраты энергии E , которая расходуется на преодоление трения частиц друг о друга и газа об их поверхность, на расширение слоя, на трение частиц и газа о стенки аппарата.

Для аппаратов постоянного сечения, пренебрегая сжимаемостью газа, можно принять, что $E = v\Delta pF$, где Δp – перепад давления при движении газа через слой; F – площадь поперечного сечения аппарата.

Перепад давления в слое, необходимый для выбора дутьевого оборудования, можно определить теоретическим путем. Если принять порозность ε постоянной по высоте слоя H , то

$$\Delta P = g\rho_s(1 - \varepsilon)H$$

где ρ_s – эффективная плотность частиц ($\rho_s = \rho_T$), кг/м³; ε – порозность псевдооживленного слоя. Порозность $\varepsilon = 1 - \left(\frac{\rho_{сл}}{\rho_T}\right)$, где $\rho_{сл}$ – плотность слоя; ρ_T – плотность твердых частиц, кг/м³. Порозность неподвижного слоя $\varepsilon_0 = 1 - (\rho_n / \rho_T)$, где ρ_n – насыпная плотность материала, кг/м³.

В точке начала псевдооживления

$$\frac{\Delta P}{H_0} = g\rho_s(1 - \varepsilon_0)$$

Приравнявая предыдущие выражения, получают уравнение для определения скорости псевдооживления

$$f(v_0) = g\rho_s(1 - \varepsilon_0).$$

Для расчета перепада давления в слое можно рекомендовать уравнение Эргана

$$\Delta p = 150 \frac{(1 - \varepsilon_0)^2}{\varepsilon_0^3} \frac{\mu N}{d_s^2} H + 1,75 \frac{1 - \varepsilon_0}{\varepsilon_0^3} \frac{\rho_T v^2}{d_s} H,$$

из которого путем несложных преобразований получается критериальная зависимость для расчета скорости начала псевдооживления

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ	 SKMA -1979-	SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		Сәйкес номері
Лекционный комплекс		64 беттің 25 беті

$$Re_0 = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}}$$

где Re_0 – критерий Рейнольдса; Ar – критерий Архимеда, справедливая при $\varepsilon_0 = 0,34...0,42$. Эта зависимость используется практически во всем диапазоне изменения числа Рейнольдса при ламинарном, переходном и турбулентном режимах.

При расчете скорости псевдооживления по уравнению вычисляют сначала значение критерия Ar по уравнению

$$Ar = g(l^3/v^2)((\rho_T - \rho_{ж})/\rho_{ж})$$

затем находят величину Re_0 и по ней вычисляют скорость начала псевдооживления v_0 .

Для частиц несферической формы скорость начала псевдооживления определяют с учетом фактора формы Φ .

Размер частиц определенного размера, когда форма отличается от сферической, определяют, как диаметр шара, по объему равновеликому частице:

$$d_i = \sqrt[3]{6V_r / \pi}$$

где V_r – среднееарифметическое значение объема одной частицы в данной фракции, определенное по количеству частиц в пробе n и массе пробы g при определенной плотности частиц ρ_T : $V_r = g/(n\rho_T)$.

Фактор формы частиц определяется как отношение площадей поверхно-стей равновеликого шара и частицы $S_{\text{ш}}$:

$$\Phi = \sqrt{\pi d_{\text{ш}}^2 / S_{\text{ч}}} = \sqrt{4,87V_{\text{ч}}^{2/3} / S_{\text{ч}}}$$

Расчет второй критической скорости v_B (скорости уноса), при которой происходит массовый унос частиц, проводят по формуле

$$Re_B = \frac{Ar}{18 + 0,575\sqrt{Ar}}$$

Скорость витания (уноса)

$$v_B = \frac{Re_B \nu}{d_{\text{ч}}}$$

где ν – коэффициент кинематической вязкости.

Аппараты с псевдооживленным слоем

В настоящее время разработаны многочисленные конструкции аппаратов с псевдооживленным слоем, учитывающие технологические условия протекания процессов, требования к качеству получаемых продуктов, специфические особенности взаимодействующих веществ. На рисунке 5 показаны некоторые схемы аппаратов с псевдооживленным слоем.

В цилиндрический противоточный аппарат непрерывного действия (рисунок 5а) ожижающий газовый поток поступает снизу под газораспределительную решетку, а зернистый материал – в верхнюю часть аппарата. Для поддержания определенного уровня материала на газораспределительной решетке и вывода его из аппарата служит переточный патрубок. Вертикальные цилиндрические силосы (рисунок 5б) используют для накопления и усреднения больших партий зерновых материалов. Псевдооживленный слой создается газом (воздухом), поступающим во внутреннюю полость между двумя днищами, которая разделена концентрической перегородкой на внешнее и внутреннее кольца. Во внешнее кольцо подается примерно в 2 раза больше газа, чем во внутреннее. За счет разного количества газа, подаваемого во внешнее и внутреннее кольца, в силосе создается направленная циркуляция зернового материала от периферии к оси аппарата, способствующая его перемешиванию. В конических аппаратах (рисунок 5в) уменьшение скорости снизу вверх позволяет псевдооживлять полидисперсные материалы. Газ подается через небольшое отверстие внизу аппарата с большой скоростью. Это позволяет при необходимости работать без газораспределительной решетки, что особенно важно при псевдооживлении комкующихся и слипающихся материалов. При значительном угле конусности аппарата струя газа может оторваться от стенок аппарата и

образовать сплошной канал. По этому каналу будет двигаться с большой скоростью поток газозвеси, образующий над поверхностью слоя фонтаны твердых частиц. Такой слой называется фонтанирующим. Для перемешивания зернистых материалов с повышенной слипаемостью частиц, в целях

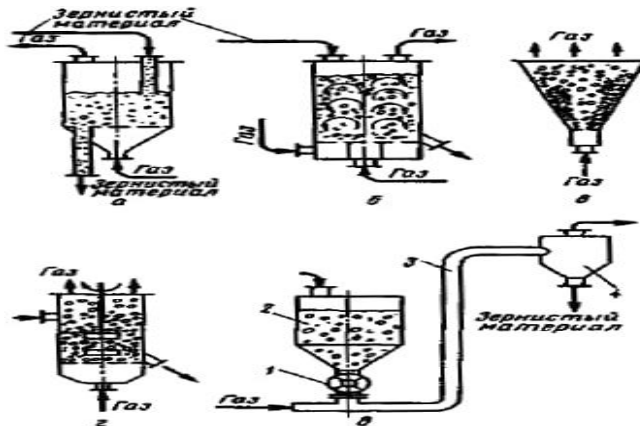


Рисунок 5 Схемы аппаратов с псевдооживленным слоем: а – цилиндрический противоточный непрерывного действия; б – с направленной циркуляцией (силос); в – конический; г – с перемешивающим устройством; д – устройство для пневмотранспорта: 1 – шлюзовой затвор; 2 – бункер; 3 – пневмолиния; 4 – циклон

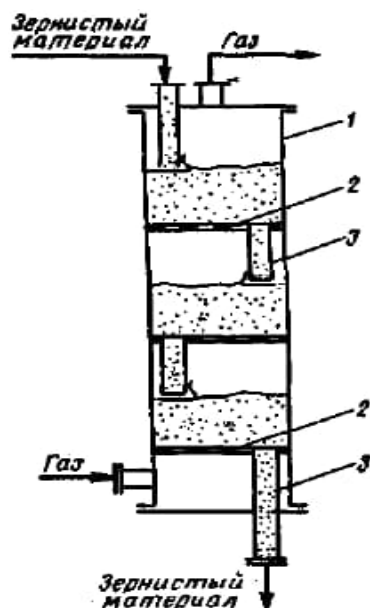


Рисунок 6. Секционный аппарат непрерывного действия: 1 – корпус; 2 – газораспределительная решетка; 3 – переточное устройство

предотвращения каналообразования в слое, процесс псевдооживления совмещают с процессом механического перемешивания в аппаратах с перемешивающими устройствами (рисунок 5г). На рисунке 5д показано устройство для пневмотранспорта зернистого материала в разбавленной псевдооживленной фазе. Зернистый материал дозируется в пневмолинию с помощью шлюзового затвора 1. Разделение

OŃTÚSTIK QAZAQSTAN MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ	 SKMA -1979-	SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казakhstanская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс		Сәйкес номері 64 беттің 27 беті

псевдооживленного слоя на зернистый материал и газ происходит на новом уровне в циклоне 4. Для снижения обратного перемешивания зернистого материала, которое приводит к снижению движущей силы и выравниванию температур процесса, в противоточных аппаратах непрерывного действия применяют секционирование (рисунок б), т.е. разделяют весь слой зернистого материала по высоте перфорированными перегородками (возможно насадкой). Перетекание зернистого материала из верхних секций в нижние происходит под действием гравитационной силы через специальные переточные устройства либо через отверстия в горизонтальных перегородках (провальных тарелках).

4. Иллюстративный материал: Плакаты с изображениями основных аппаратов

5. Литература:

Основная:

- 1) В.И. Чуешов, Е.В. Гладох, И.В. Сайко. Технология лекарств промышленного производства. Ч. 1. – Винница: Нова книга, 2014. -696 с.
- 2) В.И. Чуешов, Е.В. Гладох, И.В. Сайко. Технология лекарств промышленного производства. Ч. 2. –Винница: Нова книга, 2014. -664 с.
- 3) Промышленная технология лекарств, Том 1. Под ред. Чуешова В.И. – Х.: МТК-Книга, Издательства НФАУ, 2002 – 560 с.
- 4) Промышленная технология лекарств, Том 2. Под ред. Чуешова В.И. – Х.: МТК-Книга, Издательства НФАУ, 2002 – 557 с.
- 5) Мантлер С. Н. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / С. Н. Мантлер, Г. М. Жуманазарова. - Министерство образования и науки Республики Казахстан. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256 с
- 6) Дытнерский Ю.И Процессы и аппараты химической технологии: В двух томах / Ю.И Дытнерский. — М.: Альянс, 2015. — 368 с.
- 7) Дытнерский, Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию: Учебное пособие для вузов / Ю.И. Дытнерский, Г.С. Борисов, В. Брыков. - М.: Альянс, 2015. - 496 с.
- 8) Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов / А.Г. Касаткин. - М.: Альянс, 2014. - 752 с.
- 9) Остриков А.Н. Процессы и аппараты. Расчет и проектирование аппаратов для тепловых и теплообменных процессов: Учебное пособие / А.Н. Остриков, В.Н. Василенко и др. - СПб.: Лань, 2018. - 440 с.
- 10) Алексеев, Г.В. Виртуальный лабораторный практикум по курсу «Процессы и аппараты пищевых производств»: Уч. Пособие / Г.В. Алексеев, И.И.

Дополнительная:

- 11) Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: КолосС, 2008. – 760 с.
- 12) Кавецкий Г.Д. Процессы и аппараты пищевой технологии. - М.: Колос, 2000.
- 13) Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии - Л.: Химия, 1987
- 14) Государственная Фармакопея Республики Казахстан. – том 1 – Алматы. – Издательский дом: «Жибек жолы».– 2008.– 592 с.
- 15) Государственная Фармакопея Республики Казахстан.– том 2. – Алматы.– Издательский дом: «Жибек жолы».– 2009. – 792 с.
- 16) Сағындықова Б.А. Дәрілердің өндірістік технологиясы.– Алматы.–2011.– 346 б.
- 17) Акбердиев Ә.С. Тамақ өндірісінің процестері және аппараттары, Алматы; 1998 ж.

6. Контрольные вопросы (обратная связь)

1. Какое состояние слоя зернистого материала называют псевдооживленным?
2. Как достигается псевдооживленное состояние?
3. Какими преимуществами и недостатками обладает псевдооживленный слой?
4. На что расходуется энергия газового потока при псевдооживлении слоя зернистого материала?
5. Какие бывают конструкции аппаратов с псевдооживленным слоем?

Лекция № 7

1. Тема 7: Перемещение жидкостей (насосы). Общие сведения. Основные параметры насосов. Напор насоса. Высота всасывания. Типы насосов. Центробежные насосы. Сравнение и области применения насосов различных типов. Классификация основных процессов фармацевтического производства. Кинетические закономерности основных процессов. Общие принципы расчета аппаратов.

2. Цель: Ознакомиться с классификацией, основными параметрами, конструкцией насосов.

3. Тезисы лекции:

- 6. Классификация насосов.
- 7. Основные параметры насосов.
- 8. Основное конструкции насосов.

Краткое содержание лекции

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ НАСОСОВ

Насосами называются гидравлические машины и аппараты, создающие поток жидкой среды. Насосы создают разность давлений жидкости непосредственно в самих насосах и трубопроводах и, таким образом, преобразуют энергию двигателя в энергию перемещаемой жидкости. Дадим классификацию насосов, получивших наиболее широкое распространение в фармацевтической промышленности (рис. 1).

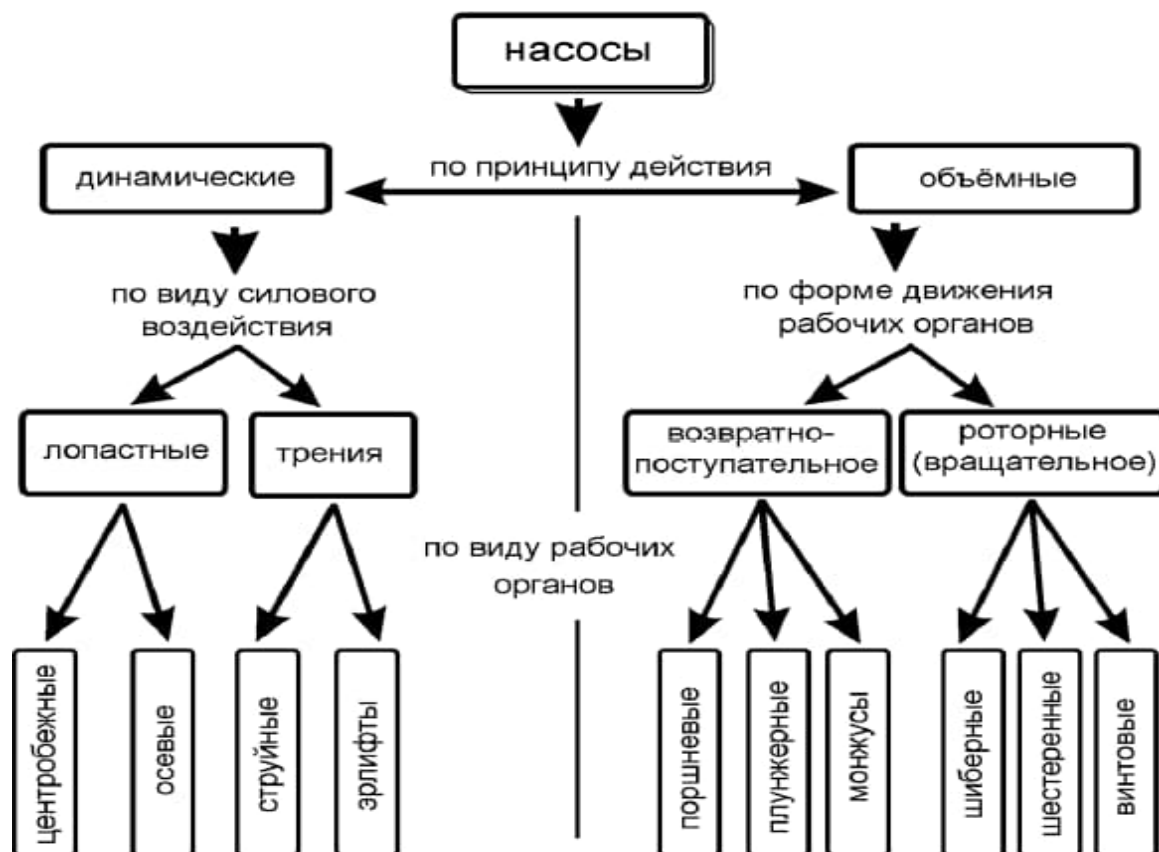


Рисунок 1 Классификация насосов

В динамических насосах жидкость перемещается при воздействии сил на незамкнутый объем жидкости, который непрерывно сообщается со входом в насос и выходом из него. В объемных насосах жидкость перемещается (вытесняется) при периодическом изменении замкнутого объема жидкости, который попеременно сообщается со входом в насос и выходом из него. В лопастных насосах энергия сообщается

жидкости при обтекании лопастей рабочего колеса (колес) насоса. В насосах трения жидкость перемещается под воздействием сил трения. В объемных насосах с возвратно-поступательным движением рабочего органа жидкость получает энергию при возвратно-поступательном движении рабочего органа. В роторных насосах энергия сообщается жидкости при вращательном движении рабочего органа.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАБОТЫ НАСОСОВ

Производительность (подача) Q (м³/с) определяется объемом жидкости, подаваемой насосом в нагнетательный трубопровод в единицу времени. **Напор H (м) (давление p (Па))** характеризует энергию, которая сообщается насосом единице веса перекачиваемой жидкости. (Напор – это как бы высота, на которую может быть поднят 1кг перекачиваемой жидкости за счет энергии, сообщаемой ей насосом).

Мощность (Вт). Различают полезную мощность N_p , мощность на валу насоса N_c , мощность, потребляемую двигателем $N_{дв}$, и установочную мощность $N_{уст}$. Полезная мощность N_p затрачивается на сообщение жидкости энергии и равна произведению массового расхода (ρgQ) на приращение удельной энергии жидкости в насосе (H), т.е.

$$N_p = \rho gQH, \text{ Вт.}$$

Мощность на валу N_c больше N_p из-за потерь энергии в насосе, которые учитываются коэффициентом полезного действия (к.п.д.) насоса η , т.е.

$$N_c = N_p / \eta.$$

К.п.д. η характеризует совершенство конструкции и экономичность эксплуатации насоса. Различают объемный к.п.д., который учитывает наличие утечек жидкости через зазоры, сальники и т.п.; гидравлический к.п.д., который учитывает потери напора при движении жидкости через насос и механический к.п.д., характеризующий потери мощности на механическое трение в насосе (подшипники, сальники и др.). Значение η зависит от конструкции и степени износа насоса (для центробежных насосов $\eta=0,6... 0,7$, для поршневых $\eta=0,8...0,9$).

Мощность, потребляемая двигателем $N_{дв}$ больше мощности на валу насоса вследствие механических потерь в передаче от двигателя к насосу и в самом двигателе. Это учитывается к.п.д. передачи, к.п.д. двигателя. Установочная мощность двигателя $N_{уст}$ рассчитывается по величине $N_{дв}$ с учетом возможных перегрузок в момент пуска насоса: $N_{уст} = \beta N_{дв}$, где $\beta=1,1...2,0$ – коэффициент запаса мощности, принимаемый в зависимости от мощности двигателя.

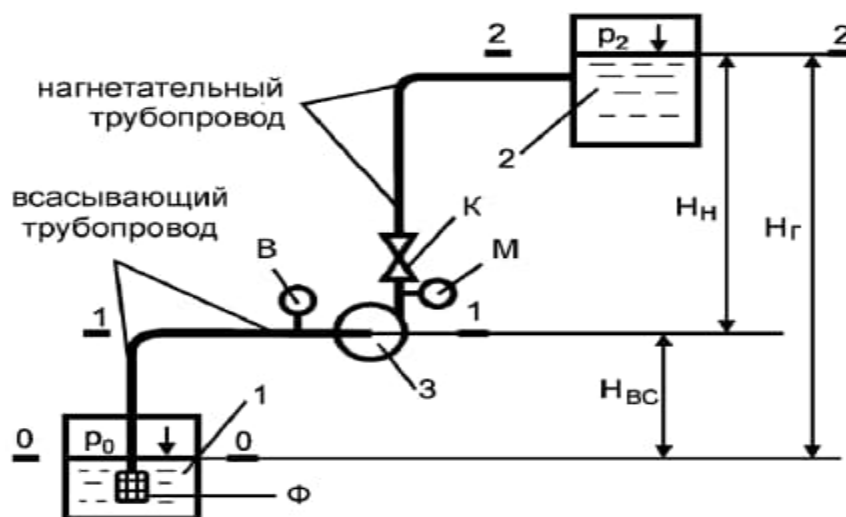


Рис. 2 Схема насосной установки

НАСОСНАЯ УСТАНОВКА. НАПОР НАСОСА

Рассмотрим принципиальную схему насосной установки (рис. 2). Основные элементы насосной установки: приемная емкость 1, напорная емкость 2, насос 3. Перекачивается жидкость из приемной емкости в напорную. Обозначим: p_0 – давление в приемной емкости; p_2 – давление в напорной емкости. Трубопровод на участке от приемной емкости до насоса называется всасывающим трубопроводом (патрубком). От насоса до напорной емкости трубопровод называется напорным или нагнетательным. Давление во всасывающем патрубке гораздо меньше, чем в нагнетательном (как правило, во всасывающем патрубке давление ниже атмосферного, т.е. – вакуум). Высота всасывания $H_{вс}$ – расстояние от уровня жидкости в приемной емкости до оси насоса. Высота нагнетания H_n – расстояние от оси насоса до уровня жидкости в напорной емкости. Геометрическая высота подъема жидкости H_r – расстояние по вертикали между уровнями жидкости в приемной и напорной емкостях. Как правило насосная установка оснащается вакуумметром В (на всасывающем трубопроводе) и манометром М (на нагнетательном трубопроводе).

На погружном конце всасывающего патрубка устанавливают фильтр клапан Ф, а на нагнетательном трубопроводе в непосредственной близости от насоса устанавливают кран (вентиль) К.

Необходимый (или потребный) напор для обеспечения нужной подачи можно определить, составив уравнения Бернулли для характерных сечений 0-0, 1-1 и 2-2.

$$H = H_r + \frac{p_2 - p_0}{\rho g} + h_n + h_{вс}, \quad (1)$$

где h_n и $h_{вс}$ – потери напора на нагнетательном и всасывающем участках. Таким образом, потребный напор насоса H затрачивается на перемещение жидкости на геометрическую высоту подъема H_r , преодоление разности давлений в напорной и приемной емкостях и преодоление гидравлических сопротивлений нагнетательного h_n и всасывающего трубопроводов $h_{вс}$. Уравнение (1) используют при подборе насосов для технологических установок. Если трубопровод горизонтальный и давление в приемной и напорной емкостях одинаково (как правило), то формула (1) упрощается: $H = h_n + h_{вс}$.

ВЫСОТА ВСАСЫВАНИЯ НАСОСА

Величина высоты всасывания насоса $H_{вс}$ (см. рис. 2) не может быть назначена произвольно. Из уравнения Бернулли для сечений 0-0 и 1-1 определяем

$$H_{вс} = \frac{p_0}{\rho g} - \left(\frac{p_{вс}}{\rho g} + \frac{v_{вс}^2 - v_0^2}{2g} + h_{вс} \right),$$

где $v_{вс}$ и v_0 – скорости движения жидкости во всасывающем трубопроводе и приемной емкости соответственно.

Таким образом, $H_{вс}$ увеличивается с возрастанием давления p_0 и уменьшается с увеличением давления во всасывающем патрубке $p_{вс}$, скорости и потерь напора. Практически высоту всасывания насоса $H_{вс}$ выбирают в пределах 5...6 м при скорости движения жидкости во всасывающей трубе около 0,8...1,0 м/с. Для устойчивой работы насоса давление в его всасывающем патрубке должно быть больше давления насыщенного пара жидкости при температуре всасывания ($p_{вс} > p_t$), т. к. в противном случае жидкость в насосе начнет кипеть. При этом в результате интенсивного выделения из жидкости паров возможен разрыв потока.

ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ НАСОСЫ

Центробежные насосы характеризуются большими производительностями независимо от величины напора. Основной частью центробежного насоса (рис. 3) является рабочее колесо 1, имеющее изогнутые лопатки. Колесо соединено с валом 2 и заключено в кожух (спиральную камеру) 3. При быстром вращении рабочего колеса 1, приводимого во вращение от двигателя, развивается центробежная сила. Под ее влиянием жидкость между лопатками колеса прогоняется к его периферии и, выходя из колеса, поступает в спиральную камеру насоса, а из нее в нагнетательный трубопровод 4. Освобождающееся от выброшенной жидкости центральное пространство насосной камеры заполняется жидкостью, поступающей по всасывающей трубе 6 под действием внешнего давления p_0 . Таким образом, образуется непрерывный поток жидкости в насос, а из него – к месту подачи.

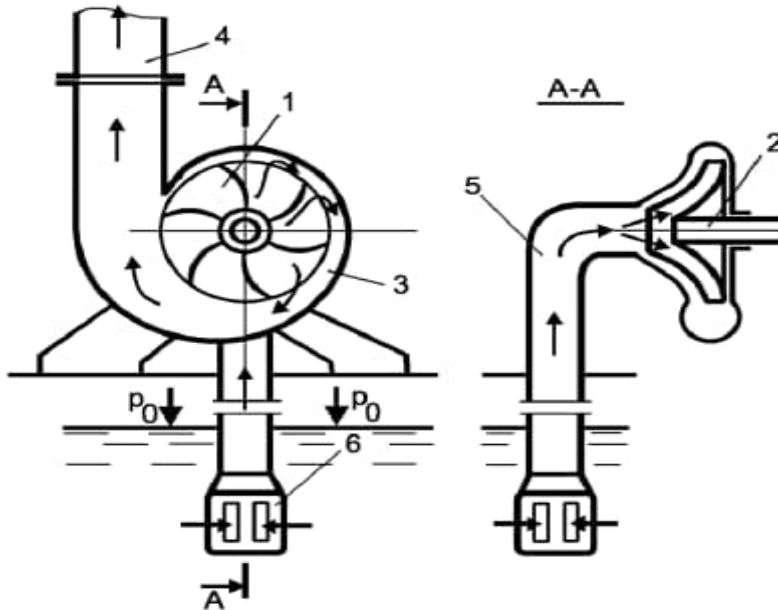


Рис. 4.3 Центробежный насос

До начала своей работы центробежные насосы требуют предварительной заливки, без чего они не могут производить всасывание жидкости. Для того, чтобы жидкость при заливке насоса не вытекала из него в исходный резервуар, на погруженном конце всасывающей трубы устанавливается приемный обратный клапан 6, снабженный фильтром (сеткой) для предохранения от загрязнений. Для увеличения подачи при данном напоре насос выполняют с несколькими рабочими колесами, соединенными параллельно. Для подачи небольших объемов жидкости на значительную высоту делают насосы с несколькими последовательно соединенными колесами. По величине создаваемого напора различают: низконапорные центробежные насосы (при напоре до 20 м); насосы среднего давления (напорот 20 до 60 м), а при напоре более 60 м – насосы высокого давления.

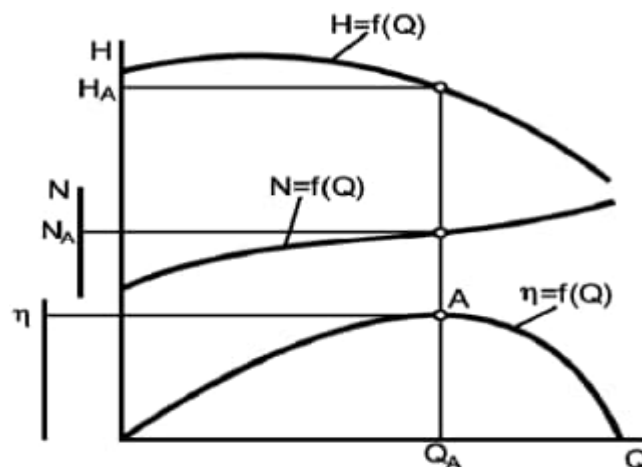


Рисунок 4. Рабочие характеристики насоса.

По способу подвода жидкости на рабочее колесо центробежные насосы подразделяют на насосы с односторонним и двусторонним входом. По расположению вала: горизонтальные и вертикальные насосы. По способу соединения с двигателем: со шкивом или с редуктором; при помощи муфты; моноблоки (насосы, имеющие общий вал с двигателем).

РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСОСА

Рабочие характеристики насоса определяются при его испытаниях на специальном стенде. При этом выявляются зависимости напора H , потребляемой мощности N и коэффициента полезного действия (к.п.д.) η от подачи Q насоса.

Эти зависимости изображают графически кривыми $H=f(Q)$, $N=f(Q)$ и $\eta=f(Q)$ (рис.4). Испытания ведутся при постоянной частоте вращения n рабочего колеса. Регулируя степень открытия задвижки на напорном трубопроводе, получают различные подачи и соответственно параметры насоса.

В точке A , называемой оптимальной, кривая к.п.д. $\eta=f(Q)$ имеет максимальное значение. Ему соответствуют подача Q_A , напор H_A и мощность N_A .

РАБОТА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА НА СЕТЬ

При выборе насоса необходимо учитывать характеристику сети, т.е. трубопровода и аппаратов, через которые перекачивается жидкость. Из уравнения (1) следует, что потребный напор расходуется на подъем жидкости на высоту H_T , преодоление разности давлений и преодоление потерь напора в сети. Обозначив сумму

$$H_T + \frac{P_2 - P_0}{\rho g} = H_{CT}$$

получим потребный напор

$$H = H_{CT} + h_{\Pi} = H_{CT} + \xi_c \frac{v^2}{2g} = H_{CT} + \xi_c \frac{\left(\frac{Q}{S}\right)^2}{2g} = H_{CT} + kQ^2,$$

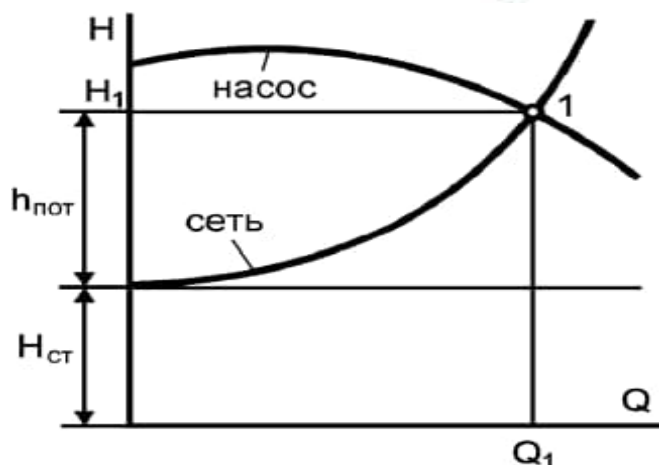


Рисунок 5. Совмещенные характеристики насоса и сети.

где ξ_c – коэффициент сопротивления сети; k – коэффициент пропорциональности сети. Таким образом, полученная характеристика сети выражается уравнением параболы. Совмещая характеристику сети и рабочую характеристику насоса (рис. 4.5) определяют рабочую точку 1, которая отвечает наибольшей производительности насоса при его работе на данную сеть. По этой точке определяются все данные, характеризующие режим работы насоса: подачу Q , напор H , мощность на валу насоса N , к.п.д. насоса η . Знание характеристик сети и насоса необходимо при выборе насоса. Рабочая точка должна соответствовать требуемым подаче Q и напору H .

ОСЕВЫЕ НАСОСЫ

Внешне осевой насос похож на гребной винт корабля (рис. 6). На втулке 1 закреплено несколько лопастей. Механизм передачи энергии от рабочего колеса жидкости тот же, что и у центробежного насоса. Отводом насоса служит осевой направляющий аппарат 3 (неподвижный), с помощью которого устраняется закрутка жидкости, и кинетическая ее энергия преобразуется в энергию давления. Осевые насосы применяют при больших подачах и малых напорах (до 20 м). Для расширения диапазона работы осевых насосов применяют поворотные лопасти.

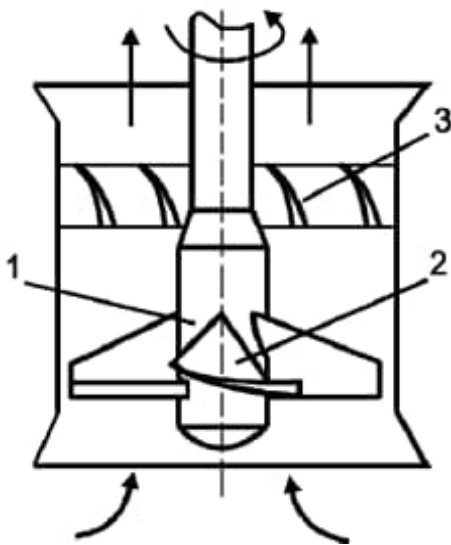


Рисунок 6. Осевой насос.

ЭРЛИФТЫ

Действие эрлифтов основано на создании разности объемного веса жидкости в двух сообщающихся сосудах. При помощи компрессора (рис. 4.11) по трубке 1 подается сжатый воздух, который через форсунку 2 распыляется в нижнем конце трубы 3. В подъемной трубе 3 образуется газожидкостная эмульсия плотностью $\rho_{\text{Э}}$, которая будет вытесняться жидкостью ($\rho_{\text{Ж}} > \rho_{\text{Э}}$) и подниматься по трубе 3. Эрлифты характеризуются простотой конструкции, отсутствием трущихся частей и низким к.п.д. (20...25%). Кроме того, высота подъема жидкости в трубе (напор) зависит от глубины погружения трубы.

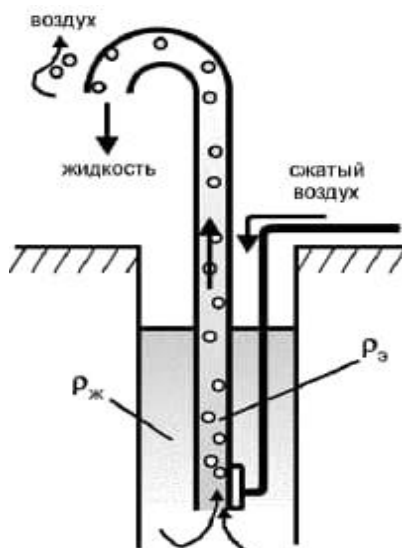


Рисунок 7. Эрлифт.

ПОРШНЕВЫЕ НАСОСЫ

Поршневые насосы представляют собой простейшие гидравлические машины с возвратно–поступательным движением поршня в гидроцилиндре (рис. 8). В гидроцилиндре 1 поршень 2 со штоком 3 совершает возвратно-поступательное движение. При движении поршня вправо объем в рабочей камере 4 увеличивается, давление в ней уменьшается, и жидкость из резервуара по всасывающей трубе 5 через всасывающий гидроклапан поступает в рабочую камеру. Процесс всасывания происходит при закрытом напорном клапане K_n . При движении поршня влево объем в камере 4 уменьшается, давление повышается. Под действием давления напорный клапан открывается, а всасывающий клапан $K_{вс}$ закрывается, и жидкость из рабочей камеры вытесняется через K_n в напорный трубопровод 6. Дальнейшее вращение кривошипа 7 ведет к повторению цикла поршневого насоса. Теоретическая производительность определяется следующим образом:

$$Q_T = F S n .$$

Действительная подача составит:

$$Q_d = \eta_{об} F S n ,$$

где F – площадь сечения поршня, m^2 ; S – длина хода поршня, $S=2r$, м; n – частота вращения кривошипа, об/с; $\eta_{об}$ – объемный к.п.д., учитывающий утечки жидкости через уплотнения поршня и штока.

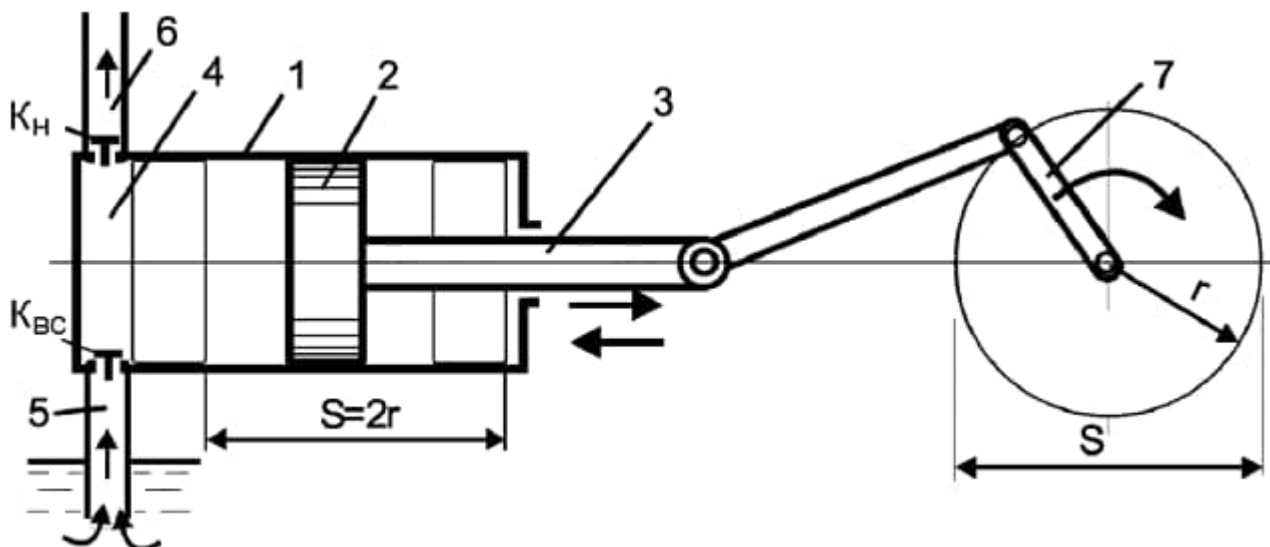


Рисунок 8. Поршневой насос простого действия.

ПЛУНЖЕРНЫЕ НАСОСЫ

Отличаются от поршневых насосов рабочим органом. Плунжер или скалка не имеют уплотнительных колец и отличаются от поршня значительно большим отношением длины к диаметру. Плунжерные насосы не требуют такой тщательной обработки внутренней поверхности цилиндра как поршневые, поэтому находят применение для перекачивания загрязненных и вязких жидкостей. Они более распространены, чем поршневые насосы.

МОНТЕЖЮ (МОНЖУС)

Монтежю (от фр. monte–jus < monter подниматься + jus сок, вода) работает по

принципу вытеснения жидкости из резервуара газом или паром. Жидкость через кран 2 поступает в резервуар 1 (рис.9). Кран-воздушник 3 должен быть открыт (удаляется воздух в атмосферу). После заполнения резервуара краны 2 и 3 закрываются, открываются 4 и 5. Сжатый воздух поступает через кран 4 и вытесняет жидкость по трубе через кран 5. Производительность насоса может быть рассчитана следующим образом: $Q = q/t$, где q – объем резервуара, t – время продолжительности цикла, включающее в себя время наполнения, опорожнения резервуара и время на вспомогательные операции. Именно по той причине, что полный цикл работы насоса включает в себя непроизводительное время наполнения, к.п.д. насоса невелик. Напор, создаваемый монтажу, достигает 300 метров.

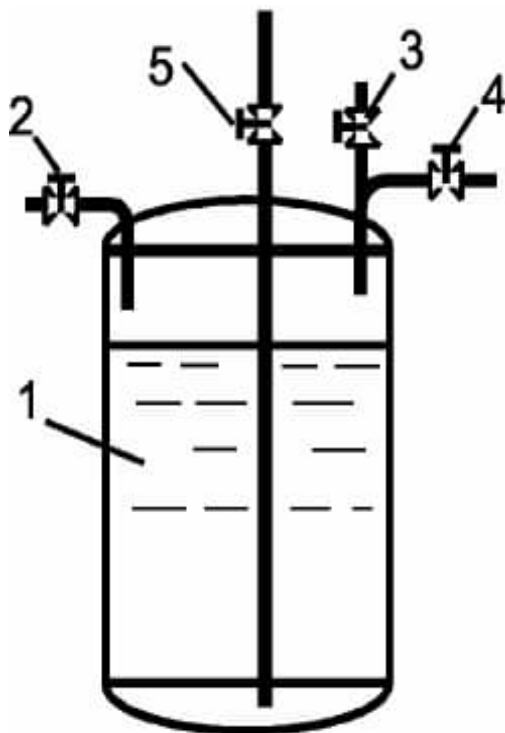


Рисунок 9. Насос монтажу.

ШЕСТЕРЕННЫЕ НАСОСЫ

Для перекачки вязких жидкостей при небольшой подаче (не более 0,1м³/с) и напорах до 2,5 МПа (25 атм) применяются шестеренные (зубчатые) насосы рис. 4.17), которые состоят из двух плотно сцепляющихся широких зубчатых колес, расположенных с минимальными зазорами (0,01...0,03 мм) в кожухе и вращающихся в противоположные стороны. С той стороны, где зубья выходят из зацепления, создается разрежение и жидкость всасывается в кожух по всасывающему трубопроводу, заполняя пространство между зубьями. Далее жидкость переносится впадинами зубчатки на диаметрально противоположную сторону кожуха, где зубья вновь входят в зацепление и вытесняют жидкость в нагнетательный трубопровод. Насос является реверсивным. Преимущества насоса: отсутствие клапанов, компактность, реверсивность, низкий (сравнительно) коэффициент неравномерности подачи. Недостатки: низкий к.п.д. (0,6...0,7), небольшая производительность, высокие требования к чистоте перекачиваемой жидкости. Подача шестеренного насоса определяется по формуле:

$$Q = 2\pi \cdot d \cdot b \cdot m \cdot n \cdot \eta_{об}, \quad (4.6)$$

где d – диаметр шестерни, м; b – ширина шестерни, м; n – частота вращения шестерни, об/с; $\eta_{об}$ – объёмный к.п.д. насоса; $m = d/z$ – модуль шестерни, z – число зубьев шестерни.

РОТОРНО-ПЛАСТИНЧАТЫЕ (ШИБЕРНЫЕ) НАСОСЫ

В пластинчатом насосе (рис. 4.18) ротор 1 с лопатками (пластинами) 2 вращаются вместе с валом, посаженным с эксцентриситетом относительно статора 3. Пластины 2 скользят в прорезях ротора. Благодаря эксцентричному расположению ротора, каждая пластина под

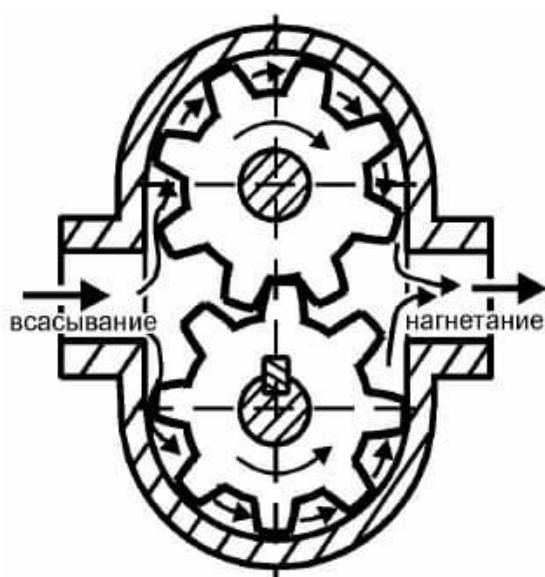


Рисунок 10. Шестеренный насос.



Рисунок 11. Пластинчатый насос.

действием центробежной силы за один оборот вала вдвигается и выдвигается из паза, прижимаясь к внутренней поверхности статора (кожуха). При вращении ротора, каждая пара лопастей (пластин) непрерывно отделяет изолированный объем жидкости и переносит его на сторону нагнетания, где жидкость

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ	 SKMA -1979-	SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казakhstanская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс		Сәйкес номері 64 беттің 37 беті

вытесняется вследствие уменьшения объема. Подача насоса весьма равномерна и обычно регулируется изменением эксцентриситета е.

На рис. 4.18 показан насос однократного действия. В пластинчатом насосе двукратного действия за один оборот ротора насос дважды подает жидкость в напорную гидролинию. Насосы однократного действия создают давление 5...6 МПа, насосы двукратного действия – более 20 МПа.

4. Иллюстративный материал: Плакаты с изображениями основных аппаратов

5. Литература:

Основная:

- 1) В.И. Чуешов, Е.В. Гладух, И.В. Сайко. Технология лекарств промышленного производства. Ч. 1. – Винница: Нова книга, 2014. -696 с.
- 2) В.И. Чуешов, Е.В. Гладух, И.В. Сайко. Технология лекарств промышленного производства. Ч. 2. –Винница: Нова книга, 2014. -664 с.
- 3) Промышленная технология лекарств, Том 1. Под ред. Чуешова В.И. – Х.: МТК-Книга, Издательства НФАУ, 2002 – 560 с.
- 4) Промышленная технология лекарств, Том 2. Под ред. Чуешова В.И. – Х.: МТК-Книга, Издательства НФАУ, 2002 – 557 с.
- 5) Мантлер С. Н. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / С. Н. Мантлер, Г. М. Жуманазарова. - Министерство образования и науки Республики Казахстан. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256 с
- 6) Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: В двух томах / Ю.И. Дытнерский. — М.: Альянс, 2015. — 368 с.
- 7) Дытнерский, Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию: Учебное пособие для вузов / Ю.И. Дытнерский, Г.С. Борисов, В. Брыков. - М.: Альянс, 2015. - 496 с.
- 8) Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов / А.Г. Касаткин. - М.: Альянс, 2014. - 752 с.
- 9) Остриков А.Н. Процессы и аппараты. Расчет и проектирование аппаратов для тепловых и теплообменных процессов: Учебное пособие / А.Н. Остриков, В.Н. Василенко и др. - СПб.: Лань, 2018. - 440 с.
- 10) Алексеев, Г.В. Виртуальный лабораторный практикум по курсу «Процессы и аппараты пищевых производств»: Уч. Пособие / Г.В. Алексеев, И.И.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ:

- 11) Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: КолосС, 2008. – 760 с.
- 12) Кавецкий Г.Д. Процессы и аппараты пищевой технологии. - М.: Колос, 2000.
- 13) Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии - Л.: Химия, 1987
- 14) Государственная Фармакопея Республики Казахстан. – том 1 – Алматы. – Издательский дом: «Жибек жолы».– 2008.– 592 с.
- 15) Государственная Фармакопея Республики Казахстан.– том 2. – Алматы.– Издательский дом: «Жибек жолы».– 2009. – 792 с.
- 16) Сағындықова Б.А. Дәрілердің өндірістік технологиясы.– Алматы.–2011.– 346 б.
- 17) Ақбердиев Ә.С. Тамақ өндірісінің процестері және аппараттары, Алматы; 1998 ж.

6. Контрольные вопросы (обратная связь)

1. На какие типы делятся насосы по принципу действия?
2. Какие вы знаете основные параметры работы насосов?
3. Как рассчитать высоту всасывания?
4. Как определить напор насоса?
5. Какие преимущества и недостатки имеют центробежные насосы по сравнению с поршневыми.

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ	 SKMA -1979-	SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		Сәйкес номері
Лекционный комплекс		64 беттің 38 беті

Лекция № 9

1. Тема 9: Разделение неоднородных систем.

2. Цель: Ознакомить студентов с неоднородными системами и методами их разделения

3. Тезисы лекции:

1. Классификация неоднородных систем.
2. Методы разделения неоднородных систем.
3. Материальный баланс процессов разделения.

Краткое содержание лекции

Неоднородными или гетерогенными системами называют системы, состоящие из двух или нескольких фаз. В зависимости от физического состояния фаз различают: суспензии, эмульсии, пены, пыли, дымы и туманы.

Суспензии — неоднородные системы, состоящие из жидкости и взвешенных в ней твердых частиц.

Эмульсии — системы, состоящие из жидкости и распределенных в ней капель другой жидкости, не смешивающейся с первой.

Пены — системы, состоящие из жидкости и распределенных в ней пузырьков газа.

Пыли и дымы — системы, состоящие из газа и распределенных в нем частиц твердого вещества.

Применяют следующие основные методы разделения неоднородных систем: 1) осаждение, 2) фильтрование, 3) центрифугирование, 4) мокрое разделение.

Осаждение представляет собой процесс разделения, в котором взвешенные в жидкости или газе твердые или жидкие частицы отделяются от сплошной фазы под действием силы тяжести, сил инерции или электростатических сил. Осаждение, происходящее под действием силы тяжести, называется отстаиванием.

Фильтрование — процесс разделения с помощью пористой перегородки, способной пропускать жидкость или газ, но задерживать взвешенные в среде твердые частицы.

Центрифугирование — процесс разделения суспензии и эмульсии в поле центробежных сил.

Мокрое разделение — процесс улавливания взвешенных в газе частиц какой-либо жидкостью.

Материальный баланс процесса разделения

Пусть разделению подлежит система, состоящая из вещества (a) (сплошная фаза) и взвешенных частиц вещества (b) (дисперсная фаза). Введем обозначения:

$G_{см}, G_{осв}, G_{ос}$ — количество смеси, осветленной жидкости и получаемого осадка, в кг;

$X_{см}, X_{осв}, X_{ос}$ — содержание вещества (b) в исходной смеси, осветленной жидкости и осадке, массовые доли.

Тогда уравнение материального баланса:

По общему количеству веществ

$$G_{см} = G_{осв} + G_{ос} \quad (1)$$

По дисперсной фазе (веществу b)

$$G_{см} \cdot X_{см} = G_{осв} \cdot X_{осв} + G_{ос} \cdot X_{ос} \quad (2)$$

Совместное решение уравнений (1), (2) позволяет определить количество осветленной жидкости $G_{осв}$ и количество осадка $G_{ос}$

$$G_{осв} = G_{см} \frac{X_{ос} - X_{см}}{X_{ос} - X_{осв}} \quad (3)$$

$$G_{ос} = G_{см} \frac{X_{см} - X_{осв}}{X_{ос} - X_{осв}}$$

4. Иллюстративный материал: Виртуальные стенды. Плакаты с изображениями основных аппаратов

5. Литература:

Основная:

- 1) В.И. Чуешов, Е.В. Гладух, И.В. Сайко. Технология лекарств промышленного производства. Ч. 1. – Винница: Нова книга, 2014. -696 с.
- 2) В.И. Чуешов, Е.В. Гладух, И.В. Сайко. Технология лекарств промышленного производства. Ч. 2. –Винница: Нова книга, 2014. -664 с.

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ	 SKMA -1979-	SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казakhstanская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс		Сәйкес номері 64 беттің 39 беті

- 3) Промышленная технология лекарств, Том 1. Под ред. Чуешова В.И. – Х.: МТК-Книга, Издательства НФАУ, 2002 – 560 с.
- 4) Промышленная технология лекарств, Том 2. Под ред. Чуешова В.И. – Х.: МТК-Книга, Издательства НФАУ, 2002 – 557 с.
- 5) Мантлер С. Н. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / С. Н. Мантлер, Г. М. Жуманазарова. - Министерство образования и науки Республики Казахстан. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256 с
- 6) Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: В двух томах / Ю.И. Дытнерский. — М.: Альянс, 2015. — 368 с.
- 7) Дытнерский, Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию: Учебное пособие для вузов / Ю.И. Дытнерский, Г.С. Борисов, В. Брыков. - М.: Альянс, 2015. - 496 с.
- 8) Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов / А.Г. Касаткин. - М.: Альянс, 2014. - 752 с.
- 9) Остриков А.Н. Процессы и аппараты. Расчет и проектирование аппаратов для тепловых и тепломассообменных процессов: Учебное пособие / А.Н. Остриков, В.Н. Василенко и др. - СПб.: Лань, 2018. - 440 с.
- 10) Алексеев, Г.В. Виртуальный лабораторный практикум по курсу «Процессы и аппараты пищевых производств»: Уч. Пособие / Г.В. Алексеев, И.И.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ:

- 11) Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: КолосС, 2008. – 760 с.
- 12) Кавецкий Г.Д. Процессы и аппараты пищевой технологии. - М.: Колос, 2000.
- 13) Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии - Л.: Химия, 1987
- 14) Государственная Фармакопея Республики Казахстан. – том 1 – Алматы. – Издательский дом: «Жибек жолы».– 2008.– 592 с.
- 15) Государственная Фармакопея Республики Казахстан.– том 2. – Алматы.– Издательский дом: «Жибек жолы».– 2009. – 792 с.
- 16) Сағындықова Б.А. Дәрілердің өндірістік технологиясы.– Алматы.–2011.– 346 б.
- 17) Ақбердиев Ә.С. Тамақ өндірісінің процестері және аппараттары, Алматы; 1998 ж.

4) Контрольные вопросы (обратная связь)

- 1) Назовите признаки, которые лежат в основе классификации неоднородных систем?
- 2) Какие вы знаете неоднородные системы?
- 3) Перечислите методы разделения неоднородных систем?
- 4) Какие величины определяются из материального баланса процессов разделения?
- 5) Что характеризует эффект разделения?

Лекция № 10

1. Тема 10: Осаждение, Фильтрование.

2. Цель: Ознакомить студентов с процессами осаждение, фильтрование и центрифугирование, методами их расчета и их аппаратным оформлением.

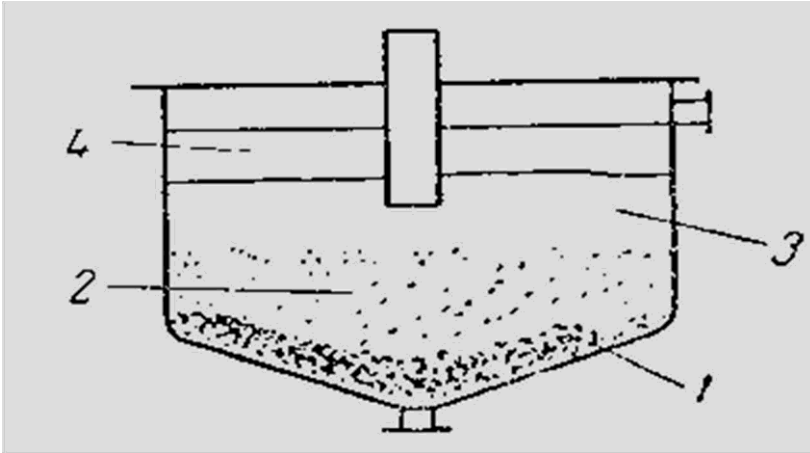
3. Тезисы лекции:

1. Осаждение и методы его расчета.
2. Фильтрование и методы его расчета.

Краткое содержание лекции

Отстаивание

Опыт показывает, что при отстаивании неоднородных систем наблюдается постепенное увеличение концентрации диспергированных частиц в аппарате по направлению сверху вниз. Над слоем осадка (зона 1) образуется зона сгущенной суспензии (зона 2), в которой происходит стесненное осаждение частиц, сопровождающееся трением между частицами и их взаимными столкновениями. Как видно из рисунка 8.1, образуется ясно выраженная граница между зоной



8.1 Схема процесса отстаивания:

1 – слой осадка (шлама); 2 – зона сгущенной суспензии; 3 – зона свободного осаждения; 4 – осветленная жидкость.

стесненного осаждения (зона 2), и находящаяся выше зоны свободного осаждения (зона 3) над которой располагается осветленная жидкость (зона 4).

В начале отстаивания осаждаются преимущественно более крупные частицы. Однако, по мере уменьшения концентрации этих частиц тормозящее влияние обратного тока жидкости ослабевает и скорость отстаивания возрастает (отрезок $ав$) до момента установления динамического равновесия между действующей силой и силой сопротивления среды. В последующий период времени осаждения частиц происходит с постоянной скоростью (bc). Завершающая и наиболее медленная стадия процесса — уплотнение осадка. На этой стадии процесс отстаивания протекает с уменьшающейся скоростью (cd).

Скорость стесненного осаждения меньше скорости свободного осаждения. Это объясняется тем, что при стесненном осаждении частицы испытывают не только сопротивление среды, но и добавочное сопротивление, обусловленное трением и соударением частиц.

Расчет отстойников Отстойники проектируются в расчете на осаждение самых мелких частиц, находящихся в исходной смеси.

Пусть за время τ (сек) суспензия разделяется на осадок и слой осветленной жидкости высотой h (м). При поверхности осаждения F (m^2) объем осветленной жидкости, полученный в единицу времени $V_{осв}$ ($m^3/сек$) выразится уравнением:

$$V_{осв} = \frac{hF}{\tau} \quad (5)$$

За то же время частицы, осаждающиеся со скоростью ω_{CT} , должны проходить путь h (м), следовательно

$$h = \omega_{CT}\tau \quad (6)$$

Подставляя значение h из уравнения (6) в уравнение (5), получим:

$$V_{осв} = \frac{\omega_{CT}\tau F}{\tau} = \omega_{CT} F \quad (7)$$

Уравнение (7) показывает, что производительность отстойника не зависит от его высоты, а зависит только от скорости и поверхности осаждения. Необходимую поверхность осаждения (в m^2) находим из выражения:

$$F = \frac{V_{осв}}{\omega_{СТ}} \quad (8)$$

Объем осветленной жидкости $V_{осв}$ при её плотности $\rho_{осв}$ ($кг/м^3$) составляет

$$V_{осв} = G_{осв} / \rho_{осв}$$

где $G_{осв}$ — масса осветленной жидкости в кг.

Тогда

$$F = \frac{G_{осв}}{\rho_{осв} \omega_{СТ}} \quad (9)$$

Подставляя значение $G_{осв}$ из уравнения (), определим поверхность осаждения

$$F = \frac{G_{см}}{\rho_{осв} \omega_{СТ}} \left(\frac{X_{ос} - X_{см}}{X_{ос} - X_{осв}} \right) \quad (10)$$

Фильтрация

Фильтрацией называют процесс разделения суспензии с использованием пористых перегородок, которые задерживают твердую фазу и пропускают её жидкую фазу. Разделение суспензии производят с помощью фильтра 1, разделенным на две части фильтровальной перегородкой 2. В разделенных частях сосуда создают разность давлений, под действием которой жидкость проходит через поры фильтровальной перегородки, а твердые частицы задерживаются на её поверхности. Таким образом суспензия 3 разделяется на чистый фильтрат 4 и влажный осадок 5. Осадки, получаемые на фильтровальной перегородке, подразделяют на несжимаемые и сжимаемые. Под несжимаемыми понимают такие осадки, в которых пористость не уменьшается при увеличении разности давления.

Скорость фильтрации

Скорость процесса пропорциональна движущей силе и обратно пропорциональна сопротивлению. Переменную скорость ($м/сек$) выражают в дифференциальной форме:

$$W = \frac{dV}{Sd\tau} = \frac{\Delta P}{\mu(R_{ос} + R_{\phi n})} \quad (11)$$

где V — объем фильтрата, $м^3$; S — поверхность фильтрации, $сек$; ΔP — разность давлений, $н/м^2$; μ — вязкость жидкой фазы $н\cdotсек/м^2$; $R_{ос}$ — сопротивление слоя осадка; $R_{\phi n}$ — сопротивление фильтровальной перегородки. $R_{ос}$, $R_{\phi n}$ выражаются в $м^{-1}$.

Обозначим отношение объема осадка к объему фильтрата через $X_0 = \frac{V_{ос}}{V_{\phi}}$; тогда объем, осадка будет равен

$X_0 V$. Вместе с тем объем, осадка может быть выражен произведением $h_{ос} S$, где $h_{ос}$ — высота слоя осадка, $м$. Следовательно,

$$X_0 V = h_{ос} S$$

$$\text{откуда } h_{ос} = \frac{X_0 V}{S} \quad (12)$$

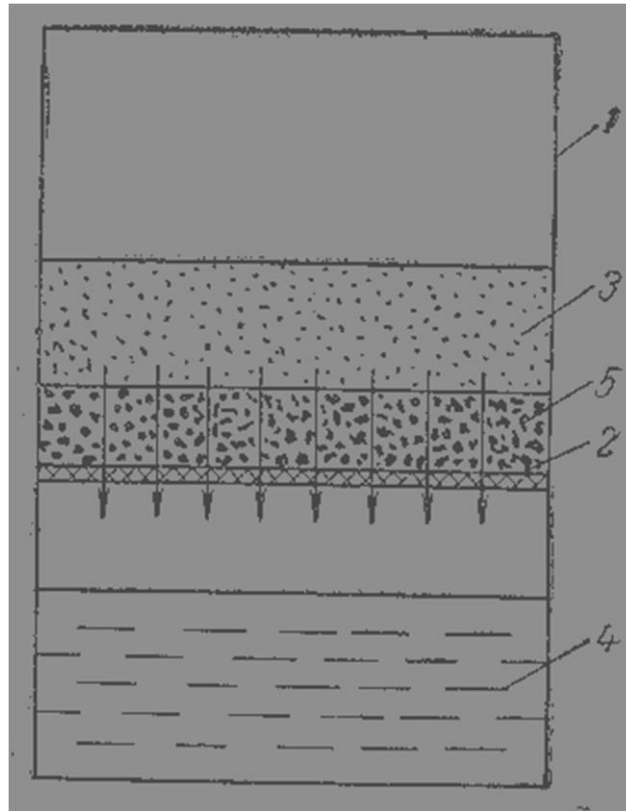


Рис. 8.3 Схема процесса фильтрация:
 1 – фильтр; 2 – фильтровальная перегородка; 3 – суспензия; 4 – фильтрат; 5 – осадок.

Сопротивление слоя осадка можно выразить:

$$R_{oc} = r_0 h_{oc} = r_0 \frac{x_0 V}{S} \quad (13)$$

Подставив значение R_{oc} из равенства (7) в уравнение (5), получим:

$$W = \frac{dV}{S d\tau} = \frac{\Delta P}{\mu \left(r_0 x_0 \frac{V}{S} + R_{\phi n} \right)} \quad (14)$$

Приняв, что сопротивлением фильтровальной перегородки можно пренебречь ($R_{\phi n} = 0$) с учетом равенства (6) из уравнения (8), найдем:

$$r_0 = \frac{\Delta P}{\mu h W_{oc}} \quad (15)$$

Приняв $V=0$, что соответствует началу фильтрации, когда на фильтровальной перегородке не образовался слой осадка, из уравнения (8) получим:

$$R = \frac{\Delta P}{\mu W_{\phi n}} \quad (16)$$

Для случая фильтрации при $\Delta P = \text{const}$ из уравнения (14) после его интегрирования получим

$$V^2 + 2 \frac{R_{\phi n}}{r_0 \cdot x_0} V = 2 \frac{\Delta P S^2}{\mu \cdot r_0 \cdot x_0} \tau \quad (16)$$

Если $S=1 \text{ м}^2$ это уравнение примет вид

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс		Сәйкес номері 64 беттің 43 беті

$$V^2 + 2CSV = 2KS^2\tau \quad (16'')$$

где $\tilde{N} = \frac{R_{\text{дт}}}{r_0 \cdot x_0 \Delta P}$ – константа фильтрования, характеризующая сопротивление фильтрующей перегородки,

$\hat{E} = 2 \frac{m^3/m^2}{\mu \cdot r_0 \cdot x_0}$ – константа фильтрования, учитывающая режим фильтрования и физико-химические свойства осадка в жидкости, м²/с.

4. Иллюстративный материал: Виртуальные стенды. Плакаты с изображениями основных аппаратов

5. Литература:

Основная:

- 1) В.И. Чуешов, Е.В. Гладух, И.В. Сайко. Технология лекарств промышленного производства. Ч. 1. – Винница: Нова книга, 2014. –696 с.
- 2) В.И. Чуешов, Е.В. Гладух, И.В. Сайко. Технология лекарств промышленного производства. Ч. 2. –Винница: Нова книга, 2014. –664 с.
- 3) Промышленная технология лекарств, Том 1. Под ред. Чуешова В.И. – Х.: МТК-Книга, Издательства НФАУ, 2002 – 560 с.
- 4) Промышленная технология лекарств, Том 2. Под ред. Чуешова В.И. – Х.: МТК-Книга, Издательства НФАУ, 2002 – 557 с.
- 5) Мантлер С. Н. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / С. Н. Мантлер, Г. М. Жуманазарова. - Министерство образования и науки Республики Казахстан. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256 с
- 6) Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: В двух томах / Ю.И. Дытнерский. — М.: Альянс, 2015. — 368 с.
- 7) Дытнерский, Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию: Учебное пособие для вузов / Ю.И. Дытнерский, Г.С. Борисов, В. Брыков. - М.: Альянс, 2015. - 496 с.
- 8) Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов / А.Г. Касаткин. - М.: Альянс, 2014. - 752 с.
- 9) Остриков А.Н. Процессы и аппараты. Расчет и проектирование аппаратов для тепловых и теплообменных процессов: Учебное пособие / А.Н. Остриков, В.Н. Василенко и др. - СПб.: Лань, 2018. - 440 с.
- 10) Алексеев, Г.В. Виртуальный лабораторный практикум по курсу «Процессы и аппараты пищевых производств»: Уч. Пособие / Г.В. Алексеев, И.И.

Дополнительная:

- 11) Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: КолосС, 2008. – 760 с.
- 12) Кавецкий Г.Д. Процессы и аппараты пищевой технологии. - М.: Колос, 2000.
- 13) Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии - Л.: Химия, 1987
- 14) Государственная Фармакопея Республики Казахстан. – том 1 – Алматы. – Издательский дом: «Жибек жолы».– 2008.– 592 с.
- 15) Государственная Фармакопея Республики Казахстан.– том 2. – Алматы.– Издательский дом: «Жибек жолы».– 2009. – 792 с.
- 16) Сағындықова Б.А. Дәрілердің өндірістік технологиясы.– Алматы.–2011.– 346 б.
- 17) Ақбердиев Ә.С. Тамақ өндірісінің процестері және аппараттары, Алматы; 1998 ж.

6. Контрольные вопросы (обратная связь)

- 1) Что является движущей силой отстаивания?
- 2) Опишите схему процесса отстаивания?
- 3) Как определяется поверхность осаждения?
- 4) Какие неоднородные системы разделяют фильтрованием?
- 5) Какие силы и критерии подобия характеризует процесс фильтрования?
- 6) Что является движущей силой в центрифугах?
- 7) В чем заключается расчет центрифуг?

Лекция № 11**1. Тема 11: Центрифугирование.**

2. Цель: Ознакомить студентов с физической сущностью процесса разделения неоднородных систем в поле центробежных сил.

3. Тезисы лекции:

1. Центробежная сила.
2. Фактор разделения.
3. Процессы в отстойных центрифугах.
4. Устройства центрифуг.

Краткое содержание лекции**Центробежная сила и фактор разделения**

Под центрифугированием понимают процесс разделения неоднородных систем в поле центробежных сил. Под действием центробежных сил суспензия разделяется на осадок и жидкую фазу, называемую фугатом.

Различают два метода Ц.: центробежное осаждение и фильтрование. Ц. проводят в центробежных машинах - центрифугах и жидкостных центробежных сепараторах. Осн. рабочий орган этих машин - осесимметричная оболочка, или ротор (барабан), вращающийся с большой частотой $\omega_{рт}$ с⁻¹, благодаря чему создается поле центробежных сил до $2 \times 10^4 g$ в промышленных и до $35 \times 10^4 g$ в лабораторных машинах (g - ускорение своб. падения в гравитац. поле). В зависимости от метода Ц. осуществляется в сплошных (осадительных; рис. 1а) или перфорированных (покрытых фильтрующим материалом; рис. 1б) роторах.

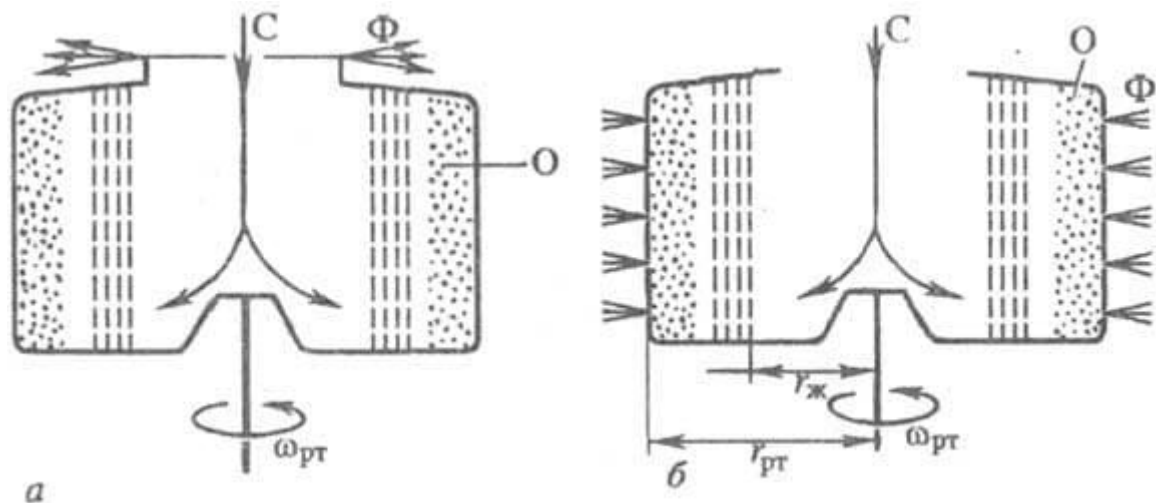


Рис. 1. Роторы машин для центробежного осаждения (а) и фильтрования (б): С - суспензия, Ф - фугат (фильтрат), О - осадок; $r_{ж}$ - радиус свободной поверхности жидкости

Как известно, в общем случае величина центробежной силы выражается равенством

$$C = \frac{mw^2}{r} = \frac{Gw^2}{gr} \quad (17)$$

где C — центробежная сила, м;

m — масса вращающегося тела, кг;

G — вес вращающегося тела;

w — окружная скорость вращения, м/сек;

r — радиус вращения, м.

Окружная скорость определяется:

$$w = \Omega r = \frac{2\pi n}{60} r \quad (18)$$

где Ω — угловая скорость вращения, рад/сек;

n — число оборотов в минуту.

Сопоставляя равенства (17), (18), найдем:

$$C = \frac{G \left(\frac{2\pi n}{60} r \right)^2}{rg} \quad (19)$$

$$\text{или} \quad C \approx \frac{Gn^2}{900} \quad (20)$$

Из выражения (20) следует, что увеличение числа оборотов ротора значительно больше влияет на возрастание центробежной силы, чем увеличение диаметра ротора центрифуги.

Из равенства (17) видно, что ускорение в поле центробежных сил составляет w^2/r . Отношение центробежного ускорения к ускорению силы тяжести g называют фактором разделения $K_p = \frac{w^2}{gr}$

(21)

Приняв величину $G = In$, из соотношений (11, 12, 15) получим:

$$K_p = \frac{In^2}{900} \quad (22)$$

Например, для центрифуги с диаметром ротора 1000 мм ($r=0,5$ м), вращающимся со скоростью $n = 1200$ об/мин, фактор разделения составляет:

$$K_p = \frac{0,5 \cdot 1200^2}{900} = 800.$$

Процессы в отстойных центрифугах

В общем случае разделение суспензий в отстойных центрифугах складывается из стадий осаждения твердых частиц на стенках ротора и уплотнения образовавшегося осадка.

Разделяющая способность отстойных центрифуг характеризуется индексом производительности Σ , который является произведением площади цилиндрической поверхности осаждения F в роторе на фактор разделения K_p :

$$\Sigma = F \cdot K_p \quad (23)$$

Откуда

$$K_p = \frac{\Sigma}{F} \quad (24)$$

Величину Σ следует считать равной площади отстойника, эквивалентного по производительности для данной суспензии рассматриваемой центрифуги.

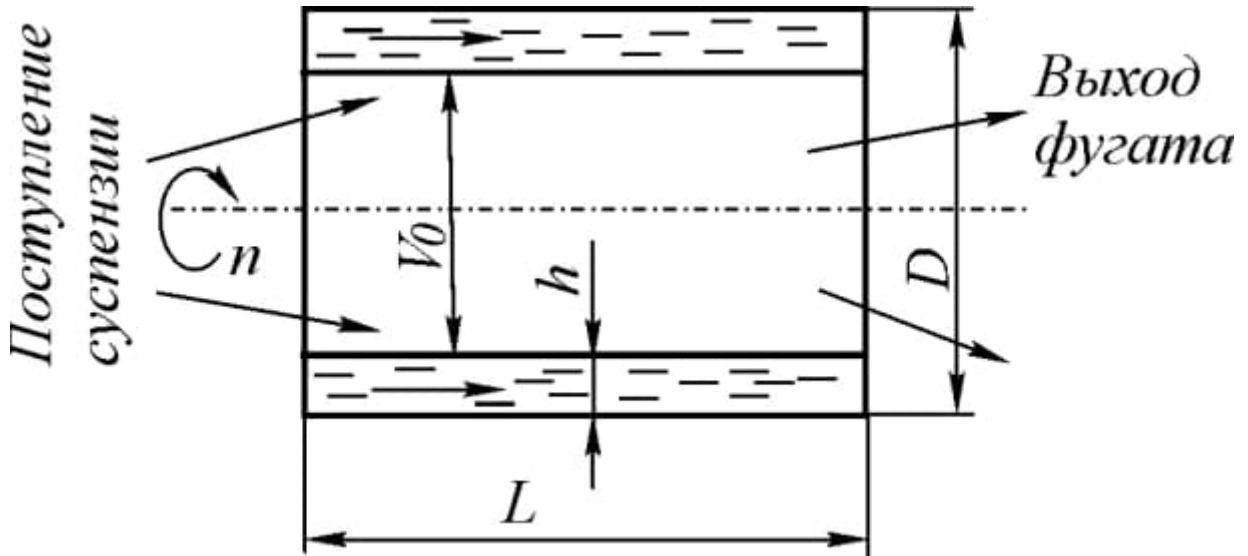


Рис. 8.4 Простейшая схема действия отстойника центрифуги

Индекс производительности отражает величина всех конструктивных особенностей осадительной центрифуги, определяющих их разделительную способность.

На рисунке дана простейшая схема действия отстойника центрифуги.

Толщина слоя жидкости h на практике значительно меньше диаметра ротора D , поэтому величину фактора разделения можно отнести к среднему диаметру $(D - h)$. Тогда в соответствии с выражением (16)

$$K_p = \frac{(D - h)n^2}{1800}$$

Площадь цилиндрической поверхности осаждения в роторе

$$F = \pi(D - h)L$$

$$\text{Отсюда } \Sigma = F \cdot K_p = \pi L \frac{(D - h)^2 n^2}{1800} \quad (19)$$

Если принять, что жидкость в роторе перемещается не по всему кольцевому пространству, занимаемому слоем, а только по тонкой внутренней зоне кольцевого пространства, то приближенно можно полагать

$$K_p = \frac{r n^2}{900} \quad \text{и } F = 2\pi r_0 L$$

В этом случае

$$\Sigma = F \cdot K_p = 2\pi L \frac{r_0^2 n^2}{900} \quad (20)$$

Равенство (16) применимо при условии, если осаждение твердых частиц суспензии происходит при ламинарном режиме. Вследствие большой величины центробежной силы осаждение частиц в центрифугах может происходить в условиях переходного и турбулентного режимов. При этом индекс производительности Σ выражается следующим образом:

$$\text{в переходном режиме } \Sigma = F \cdot K_p^{0,715} \quad (21)$$

$$\text{в турбулентном режиме } \Sigma = F \cdot K_p^{0,5} \quad (22)$$

Как видно из равенств (21, 22), в этих случаях площадь отстойника, эквивалентного по производительности рассматриваемой центрифуги, возрастает не пропорционально фактору разделения, а менее интенсивно.

Уменьшение производительности объясняется следующими причинами: отставанием скорости вращения жидкости от скорости вращения ротора, приведением к уменьшению центробежной силы, действующей на частицу; неравномерностью течения жидкости вдоль ротора и увеличением осадившихся частиц с его стенок; образованием вихревых зон, взмучивающих частицы. В связи с этим вводят понятие о коэффициенте эффективности отстойной центрифуги

$$\zeta_u = \frac{Q}{Q_T} \quad (23)$$

где Q_D , Q_T — действительная и теоретическая производительность центрифуги.

Пользуясь соотношением (23), находят действительную производительность центрифуги.

Устройство центрифуг.

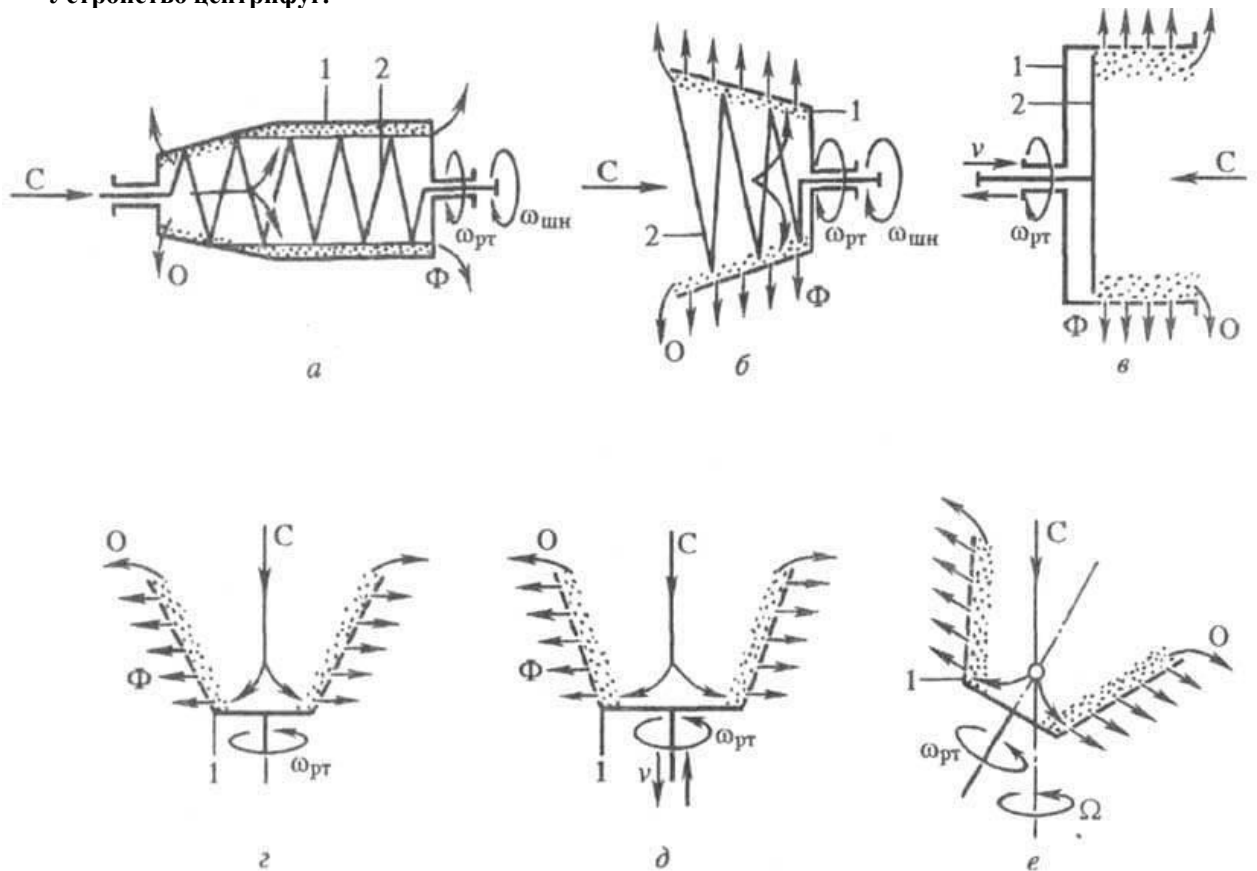


Рис. 2. Центрифуга непрерывного действия: *а* - осадительная шнековая; *б* - фильтрующая шнековая; *в* - пульсирующей выгрузкой осадка; *г* - инерционная; *д* - вибрационная; *е* - прецессионная; 1 - ротор; 2 - механизм выгрузки.

На рис. 2 представлены принципиальные схемы разделения суспензий в машинах непрерывного действия. Осадительные шнековые центрифуги (рис. 2, *а*) предназначены для разделения суспензий с нерастворимой твердой фазой, обезвоживания кристаллич. и зернистых продуктов, классификации, сгущения. Процесс происходит в сплошном роторе; осадок непрерывно выгружается шнеком, вращающимся с частотой $\omega_{шн}$.

Для этих центрифуг $K_p \approx 600-3500$.

Фильтрующие шнековые центрифуги (рис. 2, б) распространены при разделении высококонцентрир. суспензий с крупнозернистой твердой фазой (размер частиц более 0,2 мм, напр. глауберова соль). Ц. производится в каркасном роторе с листовым ситом, через к-рое отводится фильтрат. Осадок выводится из

ротора шнеком под действием разности частот вращения $\omega_{рт} - \omega_{шн}$. Высокие значения K_p (1200-1800) позволяют получать продукты с миним. влажностью.

Фильтрующие центрифуги с пульсирующей выгрузкой осадка (рис. 2, в) применяют в осн. для тех же целей, что и фильтрующие шнековые. Благодаря наличию толстого слоя осадка на колосниковом сите одно- или многокаскадного ротора удается осуществлять глубокую промывку продукта. Осадок выгружают

посредством толкателя, совершающего возвратно-поступат. движение с линейной скоростью v ; $K_p \approx 300-700$.

В инерционных центрифугах (рис. 2, з) осадок из ротора удаляется за счет составляющей центробежного поля; в вибрационных центрифугах (рис. 2, д) - благодаря вибрации ротора вдоль оси со скоростью v ; в прецессионных центрифугах (рис. 2, е) - вследствие гироскопич. движения ротора с частотами вращения $\omega_{рт}$ и Ω .

Разновидность Ц. разделение суспензий и эмульсий в центробежных сепараторах. Их роторы снабжены пакетом конич. тарелок, установленных по отношению друг к другу с небольшим зазором (0,4-1,5 мм). Высокая степень разделения достигается благодаря его протеканию в тонком слое межтарелочного зазора при ламинарном режиме. Тонкодисперсные суспензии (гормональные препараты, антибиотики и др.), содержащие 0,5-4,0% по объему мех. примесей, осветляются в сепараторах-очистителях (рис. 3, а). Твердая фаза, собираясь в шламовом пространстве ротора, периодически удаляется из него при открытии днища (поршня). Центробежное сгущение (напр., кормовые и пекарские дрожжи) производится в сепараторах-сгустителях (рис. 3, б). Сгущенная фракция непрерывно выводится через сопла по периферии ротора, а осветленная - через верх. зону. Для разделения эмульсий применяют сепараторы-разделители (рис. 4), в роторах к-рых предусмотрен пакет тарелок с отверстиями, расположенными на границе раздела тяжелой и легкой жидкостей; компоненты (фугаты Φ_1 и Φ_2) выводятся раздельно. При наличии в эмульсии твердой фазы используют универсальные роторы с выгрузкой осадка в соответствии с рис. 3, а или вручную.

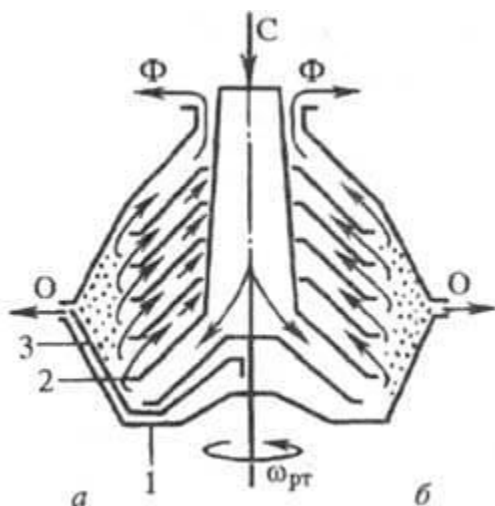


Рис. 3. Сепараторы для разделения суспензий: на рис. совмещены сепаратор-очиститель (а) и сепаратор-сгуститель (б); 1 - ротор; 2 - пакет тарелок; 3 - подвижное днище.

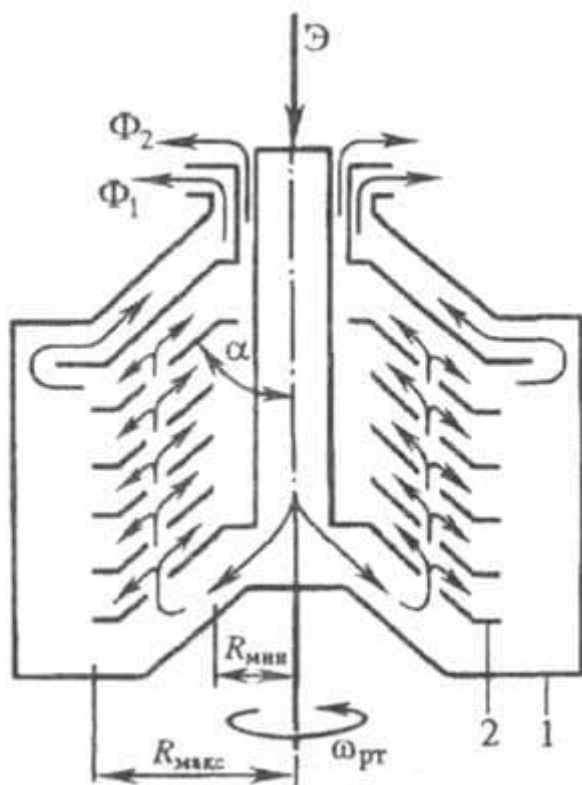


Рис. 4. Сепаратор для разделения эмульсий: 1 - ротор; 2 - пакет тарелок; Φ_1 и Φ_2 - фугаты; Э - эмульсия.

4. Иллюстративный материал: Виртуальные стенды. Плакаты с изображениями основных аппаратов

5. Литература:

Основная:

- 1) В.И. Чуешов, Е.В. Гладох, И.В. Сайко. Технология лекарств промышленного производства. Ч. 1. – Винница: Нова книга, 2014. -696 с.
- 2) В.И. Чуешов, Е.В. Гладох, И.В. Сайко. Технология лекарств промышленного производства. Ч. 2. –Винница: Нова книга, 2014. -664 с.
- 3) Промышленная технология лекарств, Том 1. Под ред. Чуешова В.И. – Х.: МТК-Книга, Издательства НФАУ, 2002 – 560 с.
- 4) Промышленная технология лекарств, Том 2. Под ред. Чуешова В.И. – Х.: МТК-Книга, Издательства НФАУ, 2002 – 557 с.
- 5) Мантлер С. Н. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / С. Н. Мантлер, Г. М. Жуманазарова. - Министерство образования и науки Республики Казахстан. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256 с
- 6) Дытнерский Ю.И Процессы и аппараты химической технологии: В двух томах / Ю.И Дытнерский. — М.: Альянс, 2015. — 368 с.
- 7) Дытнерский, Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию: Учебное пособие для вузов / Ю.И. Дытнерский, Г.С. Борисов, В. Брыков. - М.: Альянс, 2015. - 496 с.
- 8) Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов / А.Г. Касаткин. - М.: Альянс, 2014. - 752 с.
- 9) Остриков А.Н. Процессы и аппараты. Расчет и проектирование аппаратов для тепловых и теплообменных процессов: Учебное пособие / А.Н. Остриков, В.Н. Василенко и др. - СПб.: Лань, 2018. - 440 с.
- 10) Алексеев, Г.В. Виртуальный лабораторный практикум по курсу «Процессы и аппараты пищевых производств»: Уч. Пособие / Г.В. Алексеев, И.И.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ:

- 11) Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: КолосС, 2008. – 760 с.

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казakhstanская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс		Сәйкес номері 64 беттің 50 беті

- 12) Кавецкий Г.Д. Процессы и аппараты пищевой технологии. - М.: Колос, 2000.
- 13) Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии - Л.: Химия, 1987
- 14) Государственная Фармакопея Республики Казахстан. – том 1 – Алматы. – Издательский дом: «Жибек жолы».– 2008.– 592 с.
- 15) Государственная Фармакопея Республики Казахстан.– том 2. – Алматы.– Издательский дом: «Жибек жолы».– 2009. – 792 с.
- 16) Сағындықова Б.А. Дәрілердің өндірістік технологиясы.– Алматы.–2011.– 346 б.
- 17) Ақбердиев Ә.С. Тамақ өндірісінің процестері және аппараттары, Алматы; 1998 ж.

6. Контрольные вопросы (обратная связь)

1. Что такое центрифугирование?
2. Назовите факторы, которыми определяется эффективность разделения в поле центробежных сил.
3. Какие типы центрифуг применяются для разделения суспензии?
4. Что является движущей силой в центрифугах?
5. Что такое фактор разделения в центрифуге?

Лекция № 12

1. Тема 12: Разделение газовых систем

2. **Цель:** Ознакомить студентов с разделением газовых систем, а также методами их расчета.

3. Тезисы лекции:

Разделение газовых систем. Различают следующие способы очистки газов:

1. Осаждение под действием силы тяжести (графитационная очистка).
2. Осаждение под действием инерционных сил.
3. Фильтрация.
4. Мокрая очистка.
5. Осаждение под действием электростатических сил.

Степень очистки газа η определяется следующим образом:

$$\eta = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \cdot 100\%$$

где G_1, G_2 — количество взвешенных частиц в исходном и очищенном газе.

Графитационная очистка. Пылеосадительные камеры

Очистку газов от пыли под действием сил тяжести производят в осадительных камерах. Запыленный газ поступает в камеру 1, внутри которой расположены горизонтальные перегородки 2. Частицы пыли оседают из газа при его движении между полками. Газ, пройдя полки, огибает вертикальную отражательную перегородку 3 и удаляется из камеры. Пыль, осевшая на полках, периодически удаляется через дверцы 4.

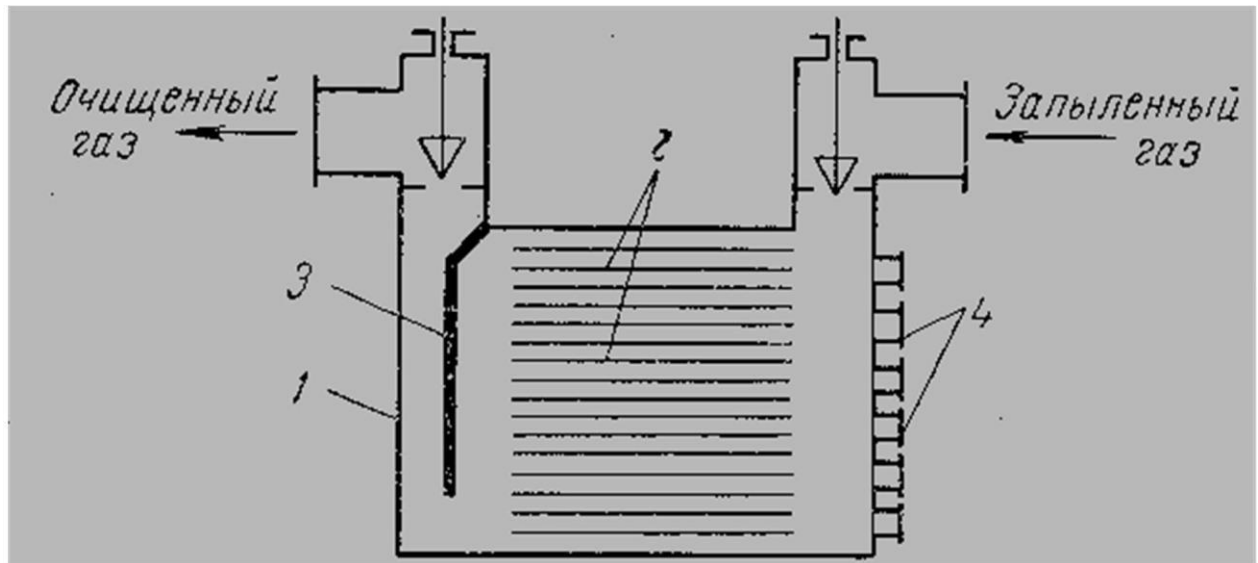


Рис. 8.6 Пылеосадительная камера:

1 – камера; 2 – горизонтальные перегородки (полки); 3 – отражательная перегородка; 4 – дверцы.

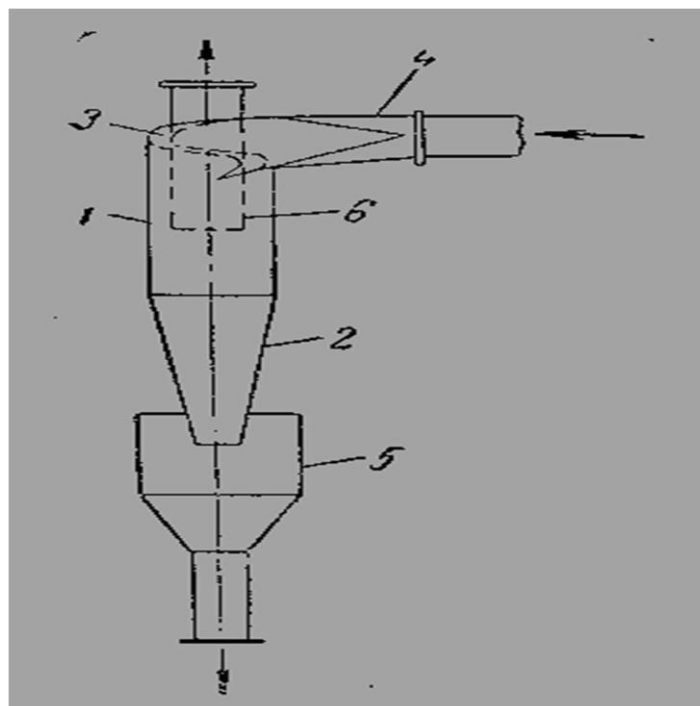


Рис. 8.7 Циклон конструкции НИИО-газ:

1 – корпус; 2 – коническое днище; 3 – крышка; 4 – входной патрубок; 5 – пылесборник; 6 – выхлопная труба.

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ	 SKMA -1979-	SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казakhstanская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс		Сәйкес номері 64 беттің 52 беті

Данным способом удается достаточно полно выделить лишь крупные частицы пыли, поэтому пылесосительные камеры используют только для грубой очистки газов.

Инерционные пылеуловители. Действие пылеуловителей такого типа основано на использовании инерционных сил, возникающих при резком изменении направления газового потока, которое сопровождается значительным уменьшением его скорости.

Рассмотрим циклон конструкции НИИОГАЗа.

Циклон НИИОГАЗа состоит из вертикального цилиндрического корпуса 1 с коническим дном 2 и крышкой 3. Запыленный газ поступает тангенциально со значительной скоростью (20-30 м/сек) через патрубок 4 прямоугольного сечения в верхнюю часть корпуса циклона. В корпусе поток запыленного газа движется вниз по спирали вдоль внутренней поверхности. При таком вращательном движении частицы пыли, как более тяжелые, перемещаются быстрее, чем частицы газа и переносятся потоком в пылесборник 5. Здесь пыль оседает, а очищенный газ, продолжая вращаться по спирали, поднимается кверху и удаляется через выхлопную трубу 6.

4. Иллюстративный материал: Виртуальные стенды. Плакаты с изображениями основных аппаратов

5. Литература:

Основная:

- 1) В.И. Чуешов, Е.В. Гладох, И.В. Сайко. Технология лекарств промышленного производства. Ч. 1. – Винница: Нова книга, 2014. -696 с.
- 2) В.И. Чуешов, Е.В. Гладох, И.В. Сайко. Технология лекарств промышленного производства. Ч. 2. –Винница: Нова книга, 2014. -664 с.
- 3) Промышленная технология лекарств, Том 1. Под ред. Чуешова В.И. – Х.: МТК-Книга, Издательства НФАУ, 2002 – 560 с.
- 4) Промышленная технология лекарств, Том 2. Под ред. Чуешова В.И. – Х.: МТК-Книга, Издательства НФАУ, 2002 – 557 с.
- 5) Мантлер С. Н. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / С. Н. Мантлер, Г. М. Жуманазарова. - Министерство образования и науки Республики Казахстан. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256 с
- 6) Дытнерский Ю.И Процессы и аппараты химической технологии: В двух томах / Ю.И Дытнерский. — М.: Альянс, 2015. — 368 с.
- 7) Дытнерский, Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию: Учебное пособие для вузов / Ю.И. Дытнерский, Г.С. Борисов, В. Брыков. - М.: Альянс, 2015. - 496 с.
- 8) Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов / А.Г. Касаткин. - М.: Альянс, 2014. - 752 с.
- 9) Остриков А.Н. Процессы и аппараты. Расчет и проектирование аппаратов для тепловых и тепломассообменных процессов: Учебное пособие / А.Н. Остриков, В.Н. Василенко и др. - СПб.: Лань, 2018. - 440 с.
- 10) Алексеев, Г.В. Виртуальный лабораторный практикум по курсу «Процессы и аппараты пищевых производств»: Уч. Пособие / Г.В. Алексеев, И.И.

Дополнительная:

- 11) Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: КолосС, 2008. – 760 с.
- 12) Кавецкий Г.Д. Процессы и аппараты пищевой технологии. - М.: Колос, 2000.
- 13) Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии - Л.: Химия, 1987
- 14) Государственная Фармакопея Республики Казахстан. – том 1 – Алматы. – Издательский дом: «Жибек жолы».– 2008.– 592 с.
- 15) Государственная Фармакопея Республики Казахстан.– том 2. – Алматы.– Издательский дом: «Жибек жолы».– 2009. – 792 с.
- 16) Сағындықова Б.А. Дәрілердің өндірістік технологиясы.– Алматы.–2011.– 346 б.
- 17) Ақбердиев Ә.С. Тамақ өндірісінің процестері және аппараттары, Алматы; 1998 ж.

6. Контрольные вопросы (обратная связь)

Лекция № 13

1. Тема 13: Перемешивание в жидкой среде.

2. Цель: Ознакомить студентов с перемешиванием в жидкой среде, а также методами их расчета.

3. Тезисы лекции:

1. Перемешивание в жидкой среде.
2. Разделение газовых систем.

Краткое содержание лекции

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ	 SKMA -1979-	SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казakhstanская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс		Сәйкес номері 64 беттің 53 беті

Перемешивание в жидких средах

Перемешивание применяют в процессах абсорбции, выпаривания, экстрагирования и других процессах фармацевтической технологии.

Различают два основных способа перемешивания в жидких средах механический (с помощью мешалок) и пневматический (сжатым воздухом или инертным газом).

Мощность, потребляемая механическими мешалками

Как следует из собственного уравнения гидродинамики, вынужденное стационарное движение жидкости в условиях, когда действием силы тяжести пренебрегать нельзя, описывается критериальным уравнением.

$$Eu = f(Re, Fr, \Gamma_1, \Gamma_2, \dots)$$

где Γ_1, Γ_2 – симплексами геометрического подобия.

Для описания процесса перемешивания применяют модифицированные критерий Эйлера (Eu_m), Рейнольдса (Re_m) и Фруда (Fr_m), которые могут быть получены путем преобразования обычных выражений этих критериев.

Вместо линейной скорости жидкости, среднюю величину которой при перемешивании установить практически невозможно, в модифицированные критерии представляется величина nd , пропорциональная окружной скорости мешалки $\omega_{окр}$:

$$\omega_{окр} = \pi dn$$

где, n – число оборотов мешалки;

d – диаметр мешалки.

В качестве определяющего линейного размера используется диаметр d мешалки.

Подставляя эти величины в соответствующие критерии получим:

$$Re_m = \frac{nd\rho d}{\mu} = \frac{nd^2\rho}{\mu};$$

$$Fr_m = \frac{n^2 d^2}{gd} = \frac{n^2 d}{g};$$

$$Eu_m = \frac{\Delta P}{\rho(nd)^2}.$$

В критерии Eu входит разность давления ΔP . Этот перепад давлений, преодолеваемый усилием ΔP , приложенным к валу мешалки. Выражают через полезную мощность N . Величина N пропорциональна произведению усилия на валу и окружной скорости, т.е.

$$N = P \cdot (nd)$$

$$\text{Тогда } \Delta P = \frac{N}{nd^3};$$

$$\text{Подставив } \Delta P \text{ в выражение для } Eu_m, \text{ получим: } Eu_m = \frac{N}{\rho n^3 d^5} = K_N$$

Критерий Eu_m , выраженный в таком виде, называют критерием мощности и обозначают через K_N .

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ	 SKMA -1979-	SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс		Сәйкес номері 64 беттің 54 беті

4. Иллюстративный материал: Виртуальные стенды. Плакаты с изображениями основных аппаратов

5. Литература:

Основная:

- 1) В.И. Чуешов, Е.В. Гладох, И.В. Сайко. Технология лекарств промышленного производства. Ч. 1. – Винница: Нова книга, 2014. -696 с.
- 2) В.И. Чуешов, Е.В. Гладох, И.В. Сайко. Технология лекарств промышленного производства. Ч. 2. –Винница: Нова книга, 2014. -664 с.
- 3) Промышленная технология лекарств, Том 1. Под ред. Чуешова В.И. – Х.: МТК-Книга, Издательства НФАУ, 2002 – 560 с.
- 4) Промышленная технология лекарств, Том 2. Под ред. Чуешова В.И. – Х.: МТК-Книга, Издательства НФАУ, 2002 – 557 с.
- 5) Мантлер С. Н. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / С. Н. Мантлер, Г. М. Жуманазарова. - Министерство образования и науки Республики Казахстан. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256 с
- 6) Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: В двух томах / Ю.И. Дытнерский. — М.: Альянс, 2015. — 368 с.
- 7) Дытнерский, Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию: Учебное пособие для вузов / Ю.И. Дытнерский, Г.С. Борисов, В. Брыков. - М.: Альянс, 2015. - 496 с.
- 8) Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов / А.Г. Касаткин. - М.: Альянс, 2014. - 752 с.
- 9) Остриков А.Н. Процессы и аппараты. Расчет и проектирование аппаратов для тепловых и теплообменных процессов: Учебное пособие / А.Н. Остриков, В.Н. Василенко и др. - СПб.: Лань, 2018. - 440 с.
- 10) Алексеев, Г.В. Виртуальный лабораторный практикум по курсу «Процессы и аппараты пищевых производств»: Уч. Пособие / Г.В. Алексеев, И.И.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ:

- 11) Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: КолосС, 2008. – 760 с.
- 12) Кавецкий Г.Д. Процессы и аппараты пищевой технологии. - М.: Колос, 2000.
- 13) Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии - Л.: Химия, 1987
- 14) Государственная Фармакопея Республики Казахстан. – том 1 – Алматы. – Издательский дом: «Жибек жолы».– 2008.– 592 с.
- 15) Государственная Фармакопея Республики Казахстан.– том 2. – Алматы.– Издательский дом: «Жибек жолы».– 2009. – 792 с.
- 16) Сағындықова Б.А. Дәрілердің өндірістік технологиясы.– Алматы.–2011.– 346 б.
- 17) Ақбердиев Ә.С. Тамақ өндірісінің процестері және аппараттары, Алматы; 1998 ж.

7. Контрольные вопросы (обратная связь)

- 1) С какой целью применяется перемешивание в фармацевтической технологии?
- 2) Какие существуют способы перемешивания в жидкой среде?
- 3) От каких параметров зависит мощность, потребляемой мешалкой?
- 4) Чем характеризуется эффективность очистки газовых потоков от взвешенных частиц?
- 5) В чем достоинства циклонного процесса?

Лекция № 14**1. Тема 14:** Механические процессы.**2. Цель:** Ознакомить студентов с физической сущностью процесса измельчения твердых материалов, теорией и методами измельчения, а также с основными типами измельчающих машин.**3. Тезисы лекции:**

8. Измельчение твёрдых материалов.

9. Физико-механические основы измельчения.

10. Конструкции измельчающих машин.

Краткое содержание лекции

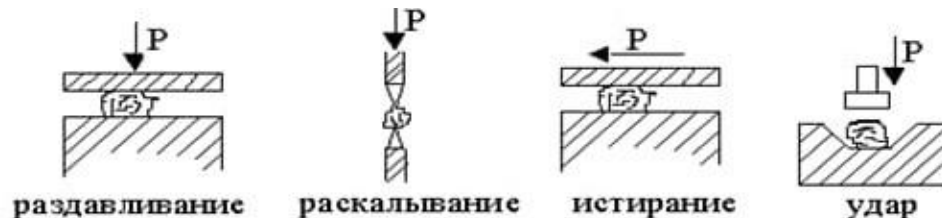
К механическим процессам относятся измельчение твёрдых материалов классификация (т.е. разделение сыпучих веществ по фракциям); смещение сыпучих материалов.

Измельчение твёрдых материалов. Скорость химических и диффузионных процессов протекающих с участием твёрдой фазы, повышается при увеличений её поверхности.

Наличие поверхности твёрдого материала достигается путём уменьшения размеров его кусков, т.е. путём измельчения. Процессы измельчения условно подразделяют на дробление (крупное, среднее и мелкое) и измельчение (тонкое и сверхтонкое).

Измельчение материалов осуществляют путём раздавливания, раскалывания, истирания и удара.

В зависимости от физико-механических свойств и размеров кусков измельчаемого материала



выбирают вид воздействия. Дробление твёрдых и хрупких материалов производят раздавливанием, раскалыванием и ударом, твёрдых и вязких – раздавливанием и истиранием. Дробление материалов осуществляют обычно сухим способом (без применения воды). Тонкое измельчение часто проводят мокрым способом (с использованием воды). При мокром изменении пыле образования не происходит и кроме того облегчает транспортирование измельчённых продуктов.

Качество процесса характеризуется степенью измельчения равной отношению среднего характерного размера D куска материала до измельчения к размеру d после измельчения: $i=D/d$.

В большинстве случаев в промышленности требуются высокие степени измельчения.

В зависимости от размеров наиболее крупных кусков измельчённого и исходного материала различают следующие виды измельчения.

Вид измельчения	Размер кусков до измельчения, мм.	Размер после измельчения	Степень измельчения
Крупное дробление	1500 – 300	300 – 100	2 – 6
Среднее дробление	300 – 100	50 – 10	5 – 10
Мелкое дробление	50 – 10	10 – 2	10 – 50
Тонкое измельчение	10 – 2	$2 - 75 \cdot 10^{-3}$	100
Сверхтонкое измельчение	$2 - 75 \cdot 10^{-3}$	$(750 - 1) \cdot 10^{-4}$	-

Физико-механические основы измельчения.

В процессе дробления куски твёрдого материала сначала подвергаются объёмной деформации по действию внешних сил, а затем разрушаются по ослабленным дефектами сечениям с образованием новых поверхностей. Куски продукта дробления ослаблены трещинами значительно меньше, чем исходные. Поэтому с увеличением степени измельчения возрастает расход энергии на процесс.

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ	 SKMA -1979-	SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казakhstanская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс		Сәйкес номері 64 беттің 56 беті

Отсюда можно сделать вывод, что работа, полезно затрачиваемая на дробление, расходуется на объёмную деформацию разрушаемых кусков и образование новой поверхности. Работа $A_{уд}$ упругого деформирования объёма разрушаемого тела пропорциональна изменению объёма (или деформированному объёму).

$$A_{уд} = K\Delta V$$

Здесь: K - коэффициент пропорциональности, численно равный работе деформирования единицы объёма твёрдого тела.

Работа образования новой поверхности при измельчении, $A_{п}$, пропорциональна изменению этой поверхности:

$$A_{п} = \sigma\Delta F$$

где: σ - коэффициент пропорциональности, численно равный работе, затрачиваемой на образование единицы новой поверхности, ΔF - величина вновь образованной поверхности.

Полная работа внешних сил при дроблении выражается уравнением Ребиндера.

$$A = A_{уд} + A_{п} = K\Delta V + \sigma\Delta F \quad (1)$$

При дроблении крупных кусков с малой степенью измельчения можно пренебречь работой образования новой поверхности вследствие её незначительной величины. Тогда уравнение (1) будет

$$A = K\Delta V = K_1 D^3 \quad (2)$$

Уравнение (2) выражает гипотезу дробления Кика – Кирпичёва. Согласно этой гипотезе работа дробления пропорциональна объёму (или массе) дробимого куска.

Если дробление происходит с большой степенью измельчения, то в уравнении (1) можно пренебречь работой деформирования объёма вследствие её малости по сравнению с работой образования новой поверхности. Тогда уравнение для работы:

$$A = \sigma\Delta F = \sigma_1 D^2 \quad (3)$$

Уравнение (3) является выражением гипотезы Риттингера, согласно которой работа дробления пропорциональна величине вновь образованной при дроблении поверхности.

Как видим, теория Ребиндера объединяет гипотезы Кирпичёва и Риттингера.

Уравнение (1) – (3) не позволяют вычислить абсолютное значение работы измельчения, поскольку

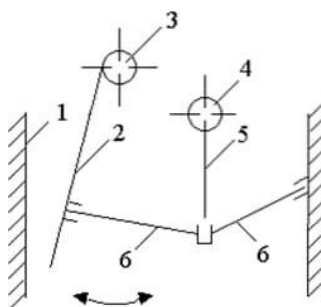
неизвестными остаются коэффициенты пропорциональности K и σ_1 . Поэтому указанные уравнения используются только для сравнительной оценки процессов измельчения. Используя гипотезы измельчения, можно наметить правильную организацию процессов измельчения и в первом приближении определить затраты энергии на процесс.

Конструкции машин раскалывающего и разламывающего действия.

Отличием рассматриваемого класса машин является действием на измельчаемое тело сосредоточенных нагрузок, вызывающих местные разрушающие напряжения и деление тела на части. К таким машинам относятся щековые, конусные и зубовалковые дробилки. Отмеченные дробилки используются в основном для крупного и среднего дробления.

Щековые дробилки. Рабочими элементами данного класса дробилок является неподвижная и подвижная щеки, образующие свободную полость (пасть), сечение которой уменьшается сверху вниз.

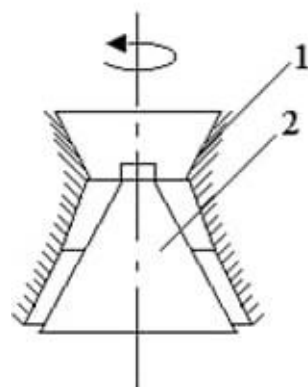
Материал загружается сверху и при сближении подвижной щеки измельчается, а при её удалении –



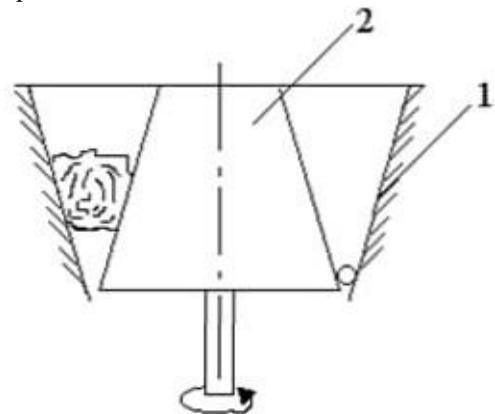
просыпается через нижнее сечение пасти. Рабочая поверхность обеих щёк имеет зубчатую форму. Подвижная щека, совершающая качательное движение, обычно подвешивается на оси за верхний конец. Ширина разгрузочной щеки в процессе работы непрерывно меняется. Это приводит к значительной неоднородности измельчаемого материала по грансоставу. Это недостаток машин. Для устранения этого недостатка были созданы машины с нижней подвеской качающейся щеки, однако, они не нашли широкого применения. Хотя однородность продукта и выше, однако внешней части образуются застойные зоны, которые снижают производительность оборудования.

Конусные дробилки. Основными рабочими элементами конусных дробилок является два усечённых конуса, размещённых один в другом. Внешний конус неподвижен, а внутренний вращается на оси.

Для крупного дробления



Для среднего дробления



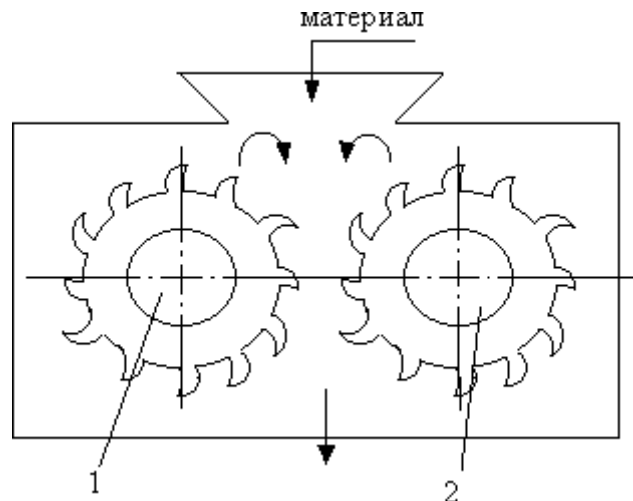
1 – неподвижный конус, 2 – подвижный конус.

Иногда внутренний конус с одной стороны приближается к неподвижному конусу, измельчая материал, а с другой стороны (при удалении) обеспечивает выход измельчённого материала. Производительность 60 – 300 т/ч.

Зубовалковые дробилки. Дробилки применяются для крупного и среднего измельчения хрупких мало прочных материалов (уголь, кокс и др.).

Дробилка состоит из двух зубчатых валков,

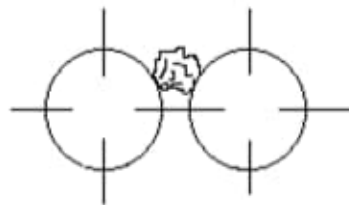
вращающихся навстречу друг другу. Один валок сидит в неподвижных подшипниках, а второй в подвижных подшипниках с амортизирующими пружинами. Измельчаемый материал попадая между зубьями, раскалывается и выпадает через щель между валками. При попадании куса не дробящегося материала, благодаря подвижным подшипникам, валки расходятся, кусок проваливается, и машина не повреждается. При измельчении более твёрдых материалов зубья делают короткими и с тупым углом в вершине, при измельчении мягких материалов – длинные с острым углом в вершине. Производительность машин – до 200 т/ч.



1 – неподвижный валок, 2 – подвижный валок.

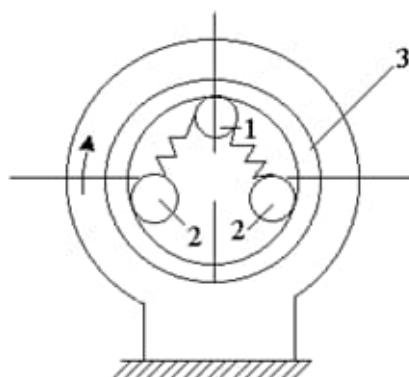
Измельчающие машины раздавливающего действия. Общим признаком этих машин является раздавливание материала при сближении двух поверхностей, из которых одна или обе подвижны. Основными представителями машин этого класса является гладко валковые и роliko -кольцевые дробилки.

Гладко валковые дробилки.



Они используются для среднего и мелкого дробления и отличаются от зубовалковых тем, что валки имеет гладкую цилиндрическую поверхность, по этому материал измельчается не раскалыванием, а раздавливанием. Производительность – 13 – 85 т/ч.

Роliko – кольцевые дробилки используются преимущественно для грубого намола. Рабочими элементами машины являются три ролика и висящее на них размольное кольцо. Ролики прижаты к размольному кольцу пружинами, причём один из них соединён с приводом и является ведущим.



1 – ведущий ролик; 2 – ведомые ролики; 3 – размольное кольцо.

Материал попадает между кольцом и корпуса, унося при этом куски и более крупного размера. Поэтому на выходе из машины устанавливают классификатор: крупные куски возвращают в машину на повторное измельчение.

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ	 SKMA -1979-	SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс		Сәйкес номері 64 беттің 59 беті

Производительность машины зависит от свойств материала и степени измельчения. Составляя 25 – 48 000 кг/ч.

Машины истирающего и раздавливающего действия.

Особенностью машин данного класса является измельчение материалов в результате одновременного действия прямого раздавливания и истирания. Раздавливание достигается сближением рабочих поверхностей, а истирание происходит вследствие разности линейных скоростей этих поверхностей. Наибольшее применение среды рассматриваемых машин, используемых для тонкого измельчения материалов, получим бегуны, каткого – тарельчатые, шароколыцевые и бисерные мельницы.

Бегуны. Основными рабочими элементами бегунов является два цилиндрических катка, опирающихся на горизонтальную чашу. Катки вращательное движение при помощи конических шестерен. При вращении вала катки бегают по дну чаши.

Материал, поступающий в чашу, попадает между чашей и катками, измельчается прямым раздавливанием и одновременно истиранием, поскольку точки по образующей катка, перемещаются с различными скоростями. Так как центробежные силы сдвигают измельчаемый материал к наружному борту чаши, то для его возвращения под катки предусмотрены специальные гребки. Они свободно сидят на полуосях, а последние соединены с вертикальным валом, приводимым во вращение.

Машины ударного действия К этим машинам относятся молотковые мельницы, дезинтеграторы, барабанные мельницы, и газоструйные мельницы.

4. Иллюстративный материал: Виртуальные стенды. Плакаты с изображениями основных аппаратов

5. Литература:

Основная:

- 1) В.И. Чуешов, Е.В. Гладух, И.В. Сайко. Технология лекарств промышленного производства. Ч. 1. – Винница: Нова книга, 2014. -696 с.
- 2) В.И. Чуешов, Е.В. Гладух, И.В. Сайко. Технология лекарств промышленного производства. Ч. 2. –Винница: Нова книга, 2014. -664 с.
- 3) Промышленная технология лекарств, Том 1. Под ред. Чуешова В.И. – Х.: МТК-Книга, Издательства НФАУ, 2002 – 560 с.
- 4) Промышленная технология лекарств, Том 2. Под ред. Чуешова В.И. – Х.: МТК-Книга, Издательства НФАУ, 2002 – 557 с.
- 5) Мантлер С. Н. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / С. Н. Мантлер, Г. М. Жуманазарова. - Министерство образования и науки Республики Казахстан. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256 с
- 6) Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: В двух томах / Ю.И. Дытнерский. — М.: Альянс, 2015. — 368 с.
- 7) Дытнерский, Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию: Учебное пособие для вузов / Ю.И. Дытнерский, Г.С. Борисов, В. Брыков. - М.: Альянс, 2015. - 496 с.
- 8) Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов / А.Г. Касаткин. - М.: Альянс, 2014. - 752 с.
- 9) Остриков А.Н. Процессы и аппараты. Расчет и проектирование аппаратов для тепловых и теплообменных процессов: Учебное пособие / А.Н. Остриков, В.Н. Василенко и др. - СПб.: Лань, 2018. - 440 с.
- 10) Алексеев, Г.В. Виртуальный лабораторный практикум по курсу «Процессы и аппараты пищевых производств»: Уч. Пособие / Г.В. Алексеев, И.И.

Дополнительная:

- 11) Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: КолосС, 2008. – 760 с.
- 12) Кавецкий Г.Д. Процессы и аппараты пищевой технологии. - М.: Колос, 2000.
- 13) Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии - Л.: Химия, 1987
- 14) Государственная Фармакопея Республики Казахстан. – том 1 – Алматы. – Издательский дом: «Жибек жолы».– 2008.– 592 с.
- 15) Государственная Фармакопея Республики Казахстан.– том 2. – Алматы.– Издательский дом: «Жибек жолы».– 2009. – 792 с.
- 16) Сағындықова Б.А. Дәрілердің өндірістік технологиясы.– Алматы.–2011.– 346 б.
- 17) Акбердиев Ә.С. Тамақ өндірісінің процестері және аппараттары, Алматы, 1998 ж.

6. Контрольные вопросы (обратная связь)

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ	 SKMA -1979-	SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казakhstanская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс		Сәйкес номері 64 беттің 60 беті

- 1) С какой целью применяют измельчение твердых материалов?
- 2) На какие виды подразделяется измельчение в зависимости от начальных и конечных размеров наибольших кусков материала?
- 3) Какими методами производится измельчение твердых материалов?
- 4) От каких характеристик измельчаемых материалов зависит работа, затрачиваемая на измельчение?
- 5) Какие типы измельчающих машин применяются в промышленности?

Лекция № 15

1. Тема 15: Прессование.

2. **Цель:** Ознакомить студентов с физической сущностью процесса прессования для обезвоживания, брикетирования твердых материалов, гранулирования и формования пластичных материалов.

3. Тезисы лекции:

1. Обезвоживание и брикетирование.
2. Гранулирование и формование.

Краткое содержание лекции

Для обезвоживания, брикетирования твердых материалов, гранулирования и формования пластичных материалов в фармацевтической промышленности применяют прессование.

Прессование заключается в том, что обрабатываемый материал подвергают внешнему давлению в специальных прессах.

Под избыточным давлением проводят обезвоживание, брикетирование, формование и штампование различных пищевых материалов [1].

Обезвоживание и брикетирование

Обезвоживание продуктов применяют для выделения жидкости, когда она является ценным продуктом или когда с обезвоживанием ценность продукта увеличивается. Обезвоживание проводят под действием избыточного давления, которое прикладывается к материалу. Избыточное давление может быть приложено к материалу двумя способами: давлением поршня в прессах или действием центробежной силы в центрифугах.

Основная характеристика процесса брикетирования – зависимость между приращением давления прессования Δp и уменьшением коэффициента уплотнения прессуемого вещества β ($\beta = V/V_1 = h/h_1$, где V и V_1 – объем продукта до и после прессования соответственно; h и h_1 – высота брикета до и после прессования соответственно).

Для вывода уравнения распределения давления прессования по высоте брикета рассмотрим схему сил, действующих на элементарный слой брикета (рисунок 2).

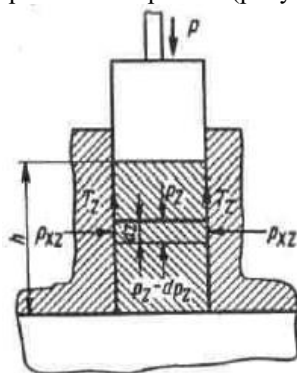


Рисунок 2 – Схема сил, действующих на элементарный слой брикета

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ	 SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казakhstanская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс	Сәйкес номері 64 беттің 61 беті

Давление прессования складывается из давления на уплотнение продукта и давления для преодоления сил трения продукта о пресс-форму. Пренебрегая трением продукта о прессорму и принимая, что продукт является однородным, получаем выражение для описания процесса прессования

$$\psi \ln(P/P_0) = \beta - \beta_0$$

где ψ – модуль прессуемости; P , P_0 – соответственно конечное и начальное давления сжатия; β , β_0 – конечный и начальный коэффициенты уплотнения.

В условиях равновесия на элемент брикета, находящийся в матрице на расстоянии z от пуансона, в вертикальной плоскости действуют нормальные силы P_z и $P_z - d P_z$, удельные силы трения T_z и силы от боковых давлений P_{xz} .

Удельная сила трения $T_z = f P_{xz}$, где f – коэффициент трения материала о стенку матрицы.

Вертикальное удельное давление связано с боковым удельным давлением P_{xz} соотношением $P_{xz}/P_z = \xi$. Если поперечное сечение F и периметр брикета Π , то условие равновесия сил на ось z выражается уравнением $F d P_z = f P_z d z$. Учитывая, что приращение давления и силы трения равны, но противоположны по направлению, получим

$$F d P_z = -f \xi P_z \Pi d z.$$

Проинтегрировав это уравнение в пределах от P до P_z и от 0 до z при постоянстве величин ξ и f , получим

$$P_z = P \exp(\xi f \Pi z / F) \quad (1)$$

На дне пресс – формы удельное давление

$$P_h = P \exp(\xi f \Pi h / F)$$

где h – высота брикета.

Уравнение (1) представляет собой уравнение распределения давления прессования по высоте сжатого брикета. Его можно также использовать для определения потерь давления на трение о стенки матрицы.

Средний коэффициент уплотнения

$$\beta_{CP} = \beta_0 - \psi \ln(p/p_0) + \psi \xi \Pi z / (2F), \quad (2)$$

где $\xi = P_{xz}/P_z$ – соотношение бокового удельного давления P_{xz} и вертикального удельного давления P_z (коэффициент бокового давления); f – коэффициент трения материала о стенку матрицы; Π – периметр брикета; z – координата перемещения пуансона вдоль вертикальной оси; F – поперечное сечение брикета.

Средняя плотность брикета постоянного сечения

$$\rho_{CP} = [\rho - \rho_k \psi \ln(p/p_0)] / [1 - \psi \xi \Pi G_k / (2F^2 \rho_k)], \quad (3)$$

где G_k – масса твердой фазы в брикете.

Конечный и начальный коэффициенты уплотнения в этом случае $\beta = \rho/\rho_k$ и $\beta_0 = \rho_0/\rho_k$; конечная высота брикета $h_k = G_k/F\rho_k$; ρ и ρ_k – соответственно начальная и конечная плотности брикета.

Уравнения (2) и (3) являются основными уравнениями процесса одностороннего прессования дисперсного вещества, полученными при допущении постоянства коэффициента трения f и коэффициента бокового давления ξ .

Гранулирование и формование

Гранулирование и формование проводят в экструдерах с целью получения полуфабрикатов или готовых изделий при комплексном воздействии давления, температуры, влажности и напряжения сдвига. Преимущества экструзии состоят в совмещении в одном экструдере нескольких процессов: диспергирования, перемешивания, гомогенизации, термической обработки (охлаждения), формования и сушки фармацевтических материалов. Экструдер заменяет ряд периодических процессов и оборудования, а сам процесс экструзии позволяет направленно изменять свойства и структуру перерабатываемого материала, обеспечивает непрерывность процесса, возможность непрерывной подачи в перерабатываемый материал.

Готовый продукт, выработанный таким образом, или полуфабрикат, называют экструдатом. Форма экструдата определяется формой отверстий в матрице, которую устанавливают на выходе материала из экструдера.

4. Иллюстративный материал: Виртуальные стенды. Плакаты с изображениями основных аппаратов

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ	 SKMA -1979-	SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс		Сәйкес номері 64 беттің 62 беті

5. Литература:

Основная:

- 1) В.И. Чуешов, Е.В. Гладух, И.В. Сайко. Технология лекарств промышленного производства. Ч. 1. – Винница: Нова книга, 2014. -696 с.
- 2) В.И. Чуешов, Е.В. Гладух, И.В. Сайко. Технология лекарств промышленного производства. Ч. 2. –Винница: Нова книга, 2014. -664 с.
- 3) Промышленная технология лекарств, Том 1. Под ред. Чуешова В.И. – Х.: МТК-Книга, Издательства НФАУ, 2002 – 560 с.
- 4) Промышленная технология лекарств, Том 2. Под ред. Чуешова В.И. – Х.: МТК-Книга, Издательства НФАУ, 2002 – 557 с.
- 5) Мантлер С. Н. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / С. Н. Мантлер, Г. М. Жуманазарова. - Министерство образования и науки Республики Казахстан. - Алматы : "Бастау", 2018. - 256 с
- 6) Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: В двух томах / Ю.И. Дытнерский. — М.: Альянс, 2015. — 368 с.
- 7) Дытнерский, Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию: Учебное пособие для вузов / Ю.И. Дытнерский, Г.С. Борисов, В. Брыков. - М.: Альянс, 2015. - 496 с.
- 8) Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов / А.Г. Касаткин. - М.: Альянс, 2014. - 752 с.
- 9) Остриков А.Н. Процессы и аппараты. Расчет и проектирование аппаратов для тепловых и тепломассообменных процессов: Учебное пособие / А.Н. Остриков, В.Н. Василенко и др. - СПб.: Лань, 2018. - 440 с.
- 10) Алексеев, Г.В. Виртуальный лабораторный практикум по курсу «Процессы и аппараты пищевых производств»: Уч. Пособие / Г.В. Алексеев, И.И.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ:

- 11) Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: КолосС, 2008. – 760 с.
- 12) Кавецкий Г.Д. Процессы и аппараты пищевой технологии. - М.: Колос, 2000.
- 13) Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии - Л.: Химия, 1987
- 14) Государственная Фармакопея Республики Казахстан. – том 1 – Алматы. – Издательский дом: «Жибек жолы».– 2008.– 592 с.
- 15) Государственная Фармакопея Республики Казахстан.– том 2. – Алматы.– Издательский дом: «Жибек жолы».– 2009. – 792 с.
- 16) Сағындықова Б.А. Дәрілердің өндірістік технологиясы.– Алматы.–2011.– 346 б.
- 17) Ақбердиев Ә.С. Тамақ өндірісінің процестері және аппараттары, Алматы; 1998 ж.

6. Контрольные вопросы (обратная связь)

1. Для чего применяют прессование в фармацевтической промышленности?
2. Чем различаются обезвоживание и брикетирование материалов?
3. Из каких составляющих складывается давление прессования?
4. От каких величин зависит средний коэффициент уплотнения?

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН
MEDISINA
AKADEMIASY



SOUTH KAZAKHSTAN
MEDICAL
ACADEMY

«Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ

АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»

Кафедра инженерных дисциплин

Лекционный комплекс

Сәйкес номері

64 беттің 63

беті

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН
MEDISINA
AKADEMIASY
«Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ



SOUTH KAZAKHSTAN
MEDICAL
ACADEMY
АО «Южно-Казакстанская медицинская академия»

Кафедра инженерных дисциплин

Лекционный комплекс

Сәйкес номері
64 беттің 64
беті