

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Таскаев Сергей Валерьевич
Должность: Ректор
Дата подписания: 01.07.2026 12:58:10
Уникальный программный ключ:
04c19ed8bfb98f3b6cb77a486b9a8788b8322323



МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)

Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) "Процессы и аппараты в биотехнологии" специальности 06.05.01 "Биоинженерия и биоинформатика" специализации Биоинженерия и биоинформатика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Стр. 1

Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине
(модулю)

Процессы и аппараты в биотехнологии

Специальность

06.05.01 Биоинженерия и биоинформатика

Специализация

Биоинженерия и биоинформатика

Присваиваемая квалификация

Биоинженер и биоинформатик

Форма обучения

очная

Год набора 2026

Челябинск 2026 г.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)

Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) "Процессы и аппараты в биотехнологии" специальности 06.05.01 "Биоинженерия и биоинформатика" специализации Биоинженерия и биоинформатика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Стр. 2

Содержание

1. Паспорт фонда оценочных средств
2. Перечень формируемых компетенции
3. Содержание оценочных средств по дисциплине
 - 3.1. Виды оценочных средств
 - 3.2. Содержание оценочных средств
4. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации
 - 4.1. Порядок проведения промежуточной аттестации
 - 4.2. Критерии оценивания промежуточной аттестации по видам оценочных средств
 - 4.3. Результаты промежуточной аттестации и уровни сформированности компетенций



1. ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Специальность: 06.05.01 Биоинженерия и биоинформатика.

Специализация: Биоинженерия и биоинформатика.

Дисциплина: Процессы и аппараты в биотехнологии.

Семестр изучения: 6.

Форма промежуточной аттестации: зачет.

2. ПЕРЕЧЕНЬ ФОРМИРУЕМЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ

Коды компетенции и (по ФГОС)	Содержания компетенций согласно ФГОС	Коды и содержания индикаторов	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ПК-1	ПК-1: Способен применять современные методы обработки, анализа и синтеза полевой, производственной и лабораторной биологической информации, правила составления научно-технических проектов и отчетов в области биоинженерии и	ПК-1.1 Использует базовые принципы планирования научных исследований и правила техники безопасности при работе с исследовательской аппаратурой в области биоинженерии и биоинформатики ПК-1.2 Анализирует нормативные документы, регламентирующие организацию и методику проведения научно-	Для достижения ПК-1.1 знать: принципы расчетов аппаратов, используемых в биотехнологических процессах, способы оптимизации условий протекания конкретных биотехнологических процессов. Для достижения ПК-1.3 уметь: адаптировать полученные в рамках данного курса знания и



	биоинформатики ;	исследовательских и производственно-технологических работ в области биоинженерии биоинформатики ПК-1.3 Планирует организацию и проведение научных исследований по актуальным биомедицинским проблемам	умения к целям и задачам конкретного предприятия; обосновывать выбор аппаратов для реализации конкретных технологий. Для достижения ПК-1.4 уметь: готовить отчеты о выполненных технологических операциях. Для достижения ПК-1.2 владеть: информацией об аналитических возможностях методов тестирования аппаратов и контроля процессов; навыками разработки технологической документации. Для достижения ПК-1.3 владеть: навыками организации
--	------------------	---	--



			самостоятельной практической деятельности.
ПК-3	ПК-3: Способен к научно-исследовательской деятельности и анализу современного состояния и перспектив использования различных методов биоинформатики и биоинженерии в селекции микроорганизмов.	ПК-3.1. Применяет методы бактериологического, молекулярно-генетического, биотехнологического исследования, биоинформатического анализа полученных результатов ПК-3.2. Использует базовые представления о применении клеток микроорганизмов, растений и животных в современной биотехнологии и биоинженерии ПК-3.3. Разрабатывает и применяет биологические технологии в промышленности и научно-исследовательской деятельности в	Для достижения ПК-3.1 знать: требования санитарно-эпидемиологического режима предприятия / лаборатории, технические аспекты реализации биотехнологических процессов; физические, химические и биологические законы, обеспечивающие протекание биотехнологических процессов, аппаратное обеспечение биотехнологических процессов. Для достижения ПК-3.2 уметь: обосновывать выбор аппаратов для реализации конкретных



		соответствии с правилами GMP и требованиями экологической безопасности	технологий; применять на практике теоретические знания конкретных биотехнологических процессов и методов разработки технологий; планировать реализацию стадий технологического процесса. Для достижения ПК-3.3 владеть: междисциплинарным подходом как методологической основой разработки технологий; навыками выполнения технологических операций.
--	--	--	--

3. СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

3.1 Виды оценочных средств

Код компетенции/планируемые результаты обучения	Контролируемые разделы	Наименование оценочного средства для	Наименование оценочного средства для промежуточн
---	------------------------	--------------------------------------	--



		текущего контроля	ой аттестации
ПК-1 Для достижения ПК-1.1 знать: принципы расчетов аппаратов, используемых в биотехнологических процессах, способы оптимизации условий протекания конкретных биотехнологических процессов. Для достижения ПК-1.3 уметь: адаптировать полученные в рамках данного курса знания и умения к целям и задачам конкретного предприятия; обосновывать выбор аппаратов для реализации конкретных технологий. Для достижения ПК-1.4 уметь: готовить отчеты о выполненных технологических операциях.	Краткая история биотехнологии. Возможности биотехнологии Системы обеспечения биотехнологического производства: водо- подготовка, воздухоподготовка, стерилизация Механические Мембранные разделительные процессы в биотехнологическом производстве Сверхкритические флюидные технологии в биотехнологическом производстве Теплообменные процессы в биотехнологическом производстве Сорбционные массообменные процессы в биотехнологическом производстве	Доклад, тест	Вопросы № 1, 2, 3 Вопросы № 4, 5, 6 Вопросы № 12, 13, 14, 15 Вопросы № 16, 17, 18, 19, Вопрос №20 Вопросы № 21, 22, 34, 35, 36 Вопросы № 29, 30, 31, 32, 33



Для достижения ПК-1.2 владеть: информацией об аналитических возможностях методов тестирования аппаратов и контроля процессов; навыками разработки технологической документации. Для достижения ПК-1.3 владеть: навыками организации самостоятельной практической деятельности.	ом производстве		
ПК-3 Для достижения ПК-3.1 знать: требования санитарно-эпидемиологического режима предприятия / лаборатории, технические аспекты реализации биотехнологических процессов; физические, химические и биологические законы, обеспечивающие протекание биотехнологических	Основные понятия и законы процессов Массообменные процессы в биотехнологическом производстве: сушка, ректификация, перегонка, экстракция, кристаллизация	Доклад, тест	Вопросы №, 7, 8, 9, 10, 11 Вопрос № 23, 24, 25, 26, 27, 28



процессов, аппаратное обеспечение биотехнологических процессов. Для достижения ПК-3.2 уметь: обосновывать выбор аппаратов для реализации конкретных технологий; применять на практике теоретические знания конкретных биотехнологических процессов и методов разработки технологий; планировать реализацию стадий технологического процесса. Для достижения ПК-3.3 владеть: междисциплинарным подходом как методологической основой разработки технологий; навыками выполнения технологических операций.			
---	--	--	--



Типовые задания, критерии и показатели оценивания в рамках текущего контроля представлены в рабочей программе по дисциплине. Полные комплекты оценочных средств контрольно-измерительных материалов хранятся на кафедре и являются учебно-методическими материалами ограниченного (конфиденциального) пользования.

3.2 Содержание оценочных средств для промежуточной аттестации

Оценочные средства представлены в виде зачёта по билетам (правильные ответы выделены *курсивом*):

Вопросы для подготовки к зачету:

1. Особенности малотоннажных и многотоннажных производств.

Ответ:

По степени использования микроорганизмов отрасли промышленности можно разделить на две большие группы:

К первой – относится ряд пищевых производств (например, бродильные производства, пивоварение, виноделие и пр.): Применение микроорганизмов ограничивается здесь, какой-либо одной стадией технологического процесса.

Ко второй – производства, связанные с культивированием, т.е. выращиванием микроорганизмов, либо продуцированием (выработкой) полезных продуктов жизнедеятельности микроорганизмов: собственно биотехнология. По технологическому признаку вторую группу производств разделяют на две подгруппы:

I. Многотоннажные производства, связаны с выработкой:

- *больших количеств биомассы микроорганизмов (прежде всего дрожжей);*
- *ряда органических кислот (лимонной, молочной, уксусной и др.);*
- *ряда спиртов.*

II. Малотоннажные производства:

- *получение либо бактериальных препаратов;*
- *либо веществ сложной органической структуры, большинство из которых обладает биологической активностью*

Особенности многотоннажных производств

Условия культивирования не требуют высокой степени стерильности, в связи с этим здесь используются т.н. нестерильные ферментаторы.

Культивирование происходит в неблагоприятных условиях для дикой микрофлоры: в кислой среде при pH 4,0 – 5,0 и температурах больше 35 С. Питательные среды содержат



спирты и другие компоненты в концентрациях, при которых затруднен рост многих вредных или диких микроорганизмов.

В ряде случаев при культивировании используются микроорганизмы анаэробы, что облегчает борьбу с посторонней микрофлорой.

Основное оборудование (бродильные чаны и ферментеры) не нуждаются в надежной стерилизации и герметизации.

Стадия выделения готового продукта довольно проста:

- либо сепарация дрожжей;*
- либо ректификация растворителей.*

Конечные продукты выпускаются в жидком виде, либо сухом виде, для чего они подвергаются сушке в распылительных сушилках.

Особенности малотоннажных производств

Это производство: медицинских и кормовых антибиотиков, · ферментов, бактериальных удобрений, и стимуляторов роста, · кровезаменителей (полиглюкина), вакцин, гормональных препаратов и т.п.

Культивирование глубинное, в условиях близких к нормальным и оптимальным для развития вульгарной (дикой) микрофлоры (рН 6,2 – 7,2 и температура 25 – 35 0С).

Посторонние микроорганизмы могут либо полностью подавить рост полезного продуцента, либо резко снизить выход нужного продукта метаболизма микроорганизмов.

Повышенные требования к стерильности и герметичности аппаратов и технологических процессов, протекающих в них.

Сложное выделение конечного продукта из культуральных жидкостей: Помимо сепарации и фильтрования приходится использовать такие процессы как:

- осаждение, экстракция, выпарка, ионный обмен и др.*

Продукты тонкого микробиологического синтеза, как правило, термически нестойки: д. б. невысокие температуры и быстрое проведение процессов выделения после культивирования.

Готовый продукт выпускается, как правило, в сухом виде и фасуется в герметичную тару.

Приемлемые виды сушки: распылительная, тепловая вакуумная сушка, сушка в кипящем слое, сублимационная.

Хранение готового продукта производится:

- при пониженных температурах,*
- в условиях, исключающих контакт продукта с окружающей средой.*

2. Биореакторы: классификация, конструктивные особенности.

Ответ:

Оборудование БТ производств

Специфика биотехнологических процессов состоит в том, что в них участвуют живые клетки, субклеточные структуры или выделенные из клеток ферменты и их комплексы.



Это оказывает довольно существенное влияние на процессы массопередачи (обмена веществ между различными фазами, например, перенос кислорода из газообразной фазы в жидкую, из культуральной среды внутрь клетки) и теплообмена (перераспределение тепловой энергии между взаимодействующими фазами) и как следствие на конструктивные особенности оборудования.

Все формы и виды ферментационных систем создаются, имея основной целью обеспечение оптимальных условий для проведения процесса. Однако, чем больше размер аппарата, объем жидкости в нем, тем сильнее проявляется в нем неидеальность перемешивания, тепловая и диффузионная неравномерность, неравномерность распределения подводимой извне энергии, что все вместе взятое создает резко различающиеся условия жизнеобеспечения клеток в различных частях аппарата. Естественное желание конструкторов пойти на различные улучшения, и как следствие, обычно, на усложнение аппаратуры, вызвало к жизни появление множества самых различных конструкций.

Для любого биотехнологического процесса существует множество вариантов организации производства на промышленном уровне. Однако все процессы можно разделить на две большие группы - периодические и непрерывные.

При периодическом способе производства простерилизованный ферментер заполняется питательной средой, часто уже содержащей нужные микроорганизмы. Биохимические процессы в этом ферментере продолжаются от нескольких часов до нескольких дней.

Системы современных биореакторов

Должны надежно обеспечивать следующие процессы:

- эффективного перемешивания и гомогенизации среды выращивания;
- свободной и быстрой диффузии газообразных компонентов системы (аэрирование в первую очередь);
- теплообмена, обеспечивающего поддержание оптимальной температуры внутри реактора и ее контролируемые изменения;
- пеногашения;
- стерилизации сред, воздуха и самой аппаратуры;
- контроля и регулировки процесса и его отдельных этапов. Группы ферментеров по функциям

В зависимости от осуществляемых в них процессов ферментеры могут быть разделены на следующие группы:

1. аэробные, анаэробные;
2. периодические, непрерывные;
3. стерилизуемые, нестерилизуемые;
4. целевой продукт в клетках, вне клеток;
5. глубинные на растворимых и не растворимых субстратах;



6. *близкие к идеальному перемешиванию, идеальному вытеснению.*

Однако перечисленные группы процессов не равноценны по влиянию на конструкции ферментеров и определить их конструктивные особенности по данной классификации практически невозможно. В то же время на практике часто одни и те же ферментеры по этой классификации используют для проведения разных процессов.

Классификация ферментеров по способу ввода энергии (по способу осуществления аэрирования и перемешивания)

- 1. с газовой фазой;*
- 2. с жидкой фазой;*
- 3. с газовой и жидкой фазой (комбинированные).*

Для аэробных процессов аэрирование и перемешивание является, безусловно, важнейшей процедурой. Поскольку транспорт кислорода через клеточные мембраны осуществляется по диффузионному механизму, то это предполагает наличие более высокой концентрации кислорода в культуральной жидкости (вне клетки). Сложность достижения необходимого уровня аэрирования (насыщения культуральной жидкости кислородом) заключается в низкой растворимости кислорода в воде. При этом многие компоненты культуральной среды дополнительно снижают растворимость кислорода. Все это не позволяет использовать клеточные культуры с высокой плотностью (концентрацией), что в свою очередь снижает выход целевого продукта с единицы объема аппарата.

3. Общие принципы контроля и масштабирования биотехнологических процессов.

Ответ:

Управление и контроль в БТ производстве

Наиболее «комфортные» условия для культуры характеризуются:

- а) состоянием процесса в пределах бесконечно малого промежутка времени;*
 - б) реакцией микроорганизмов на любые изменения контролируемых параметров процесса.*
- Физиологическое состояние культуры продуцента оценивается косвенно по различным кинетическим параметрам: скорости роста, потребления кислорода и различных субстратов, выделению углекислого газа других продуктов метаболизма (в том числе и целевых), скорости закисления или защелачивания (по значению pH), тепловыделению и т.д.*

Основными управляющими воздействиями для поддержания и корректировки режима культивирования являются режим аэрации и перемешивания, подача теплоносителя, регулировка величины pH, поддержание уровня пены, скорость дозирования субстрата.

Одной из основных проблем промышленной биотехнологии является отсутствие специализированных датчиков, поскольку общепромышленная номенклатура приборов и средств автоматизации, зачастую, не соответствует асептическим условиям процессов, не выдерживает многократной термической стерилизации, не может



работать в сложных по составу ферментационных средах, включающих биомассу, пузыри воздуха, жировые компоненты, жидкие эмульсии и твердые частицы.

Контролируемые параметры БТ производства

Дозирование субстратов. Как уже отмечалось насосы, трубопроводы и запорная арматура - сплошная —слабая точка.

В условиях асептических производств лучшими дозирующими насосами являются перистальтические или мембранные, в которых рабочий орган взаимодействует с жидкостью через непроницаемую мембрану.

Возможно дозирование и без насосов, с помощью дозирочных бачков. При этом давление в линиях должно на 1,5-2 атм превышать давление в ферментере.

Концентрация водородных ионов. Измерение pH без особых проблем осуществляют с помощью стеклянных электродов сравнения, которые хорошо выдерживают паровую стерилизацию. Иногда используют выносные системы с циркуляцией через них жидкости из ферментера.

Концентрация растворенных газов. Наибольшее распространение получили амперометрические датчики. Они выдерживают 20-кратную стерилизацию, не теряя чувствительности. Однако перед началом процесса ферментации они нуждаются в градуировке. Наиболее широко такие датчики используются на определение количества растворенного кислорода.

Концентрация CO₂ в выхлопных газах. Этот параметр обычно измеряется по теплопроводности газов при помощи катарометра. Иногда пользуются инфракрасными анализаторами.

Температура. При биосинтезе температура может изменяться по определенной программе, обеспечивающей максимальный выход продукта. Температуру можно контролировать ртутными термометрами, термopарами или металлическими термометрами сопротивления.

Давление. Для измерения этого параметра используют относительно простые диафрагмовые манометры, способные работать в условиях стерильности. Результирующий пневматический сигнал может быть реализован непосредственно на исполнительном устройстве или преобразован в электронный. Давление в ферментере обычно регулируется простым клапаном обратного давления.

В случае аварийного выключения компрессора, сопровождающегося падением избыточного давления в ферментере, необходимо загерметизировать аппарат для защиты от внешней посторонней микрофлоры. Для этого манометр в ферментере соединяется в единую схему с заслонками на линии ввода и вывода газа и в случае падения давления ниже допустимого эти заслонки автоматически закрываются.

Скорость подачи газа и жидкости. Предпочтение обычно отдается расходомерам переменного сечения - ротаметрам и диафрагмам.



Положение поплавка в ротаметре трансформируется в электрический сигнал, который передается на регулятор, управляющий вентилем на трубопроводе.

Уровень жидкости в ферментере. Интенсивное перемешивание и пенообразование не позволяют применять обычные методы измерения уровня, распространенные в химической технологии (смотровые окна, мерные трубки и т.д.).

В ферментерах и биореакторах целесообразно применять весовой тип уровнемера, в котором датчики, фиксирующие массу аппарата, передают свой сигнал на прибор, отградуированный в единицах уровня.

Масштабирование БТ производства

Технология любого производственного процесса отрабатывается поэтапно: в лабораторных, пилотных (опытно-промышленных) и промышленных установках. Чаще встречаются аппараты с объемами ферменторной камеры: 0,5–100 л (лабораторные), 100–5000 л (пилотные) и 5000–1000000 л и более (промышленные). На каждом этапе увеличения масштаба ферментации (процесса) – масштабном переходе (масштабировании биотехнологического процесса) – решаются конкретные задачи отработки (наладки) производства и его оптимизации.

Лабораторные ферментеры по устройству и форме напоминают промышленные и подразделяются на те же типы. Правда, в лабораторных условиях наиболее часто применяются аппараты с механическим перемешиванием. По принципу теплообмена и стерилизации они делятся на две категории. К первой относятся лишенные собственных систем теплообмена и стерилизации. Такие аппараты, по сути дела, представляют собой камеры для культивирования, помещаемые в водяные бани и стерилизуемые в автоклавах. Аппараты второй категории снабжены системами теплообмена и стерилизации, принципиально не отличающимися от таковых промышленных установок.

Лабораторные биореакторы

Необходимы для решения следующих задач:

- 1) кинетические – определение скорости роста клеток, эффективность утилизации субстратов и образования целевого продукта;*
- 2) некоторые массообменные – расчет коэффициентов массопередачи, скорость поступления в среду O₂ и других газов, скорость освобождения от газообразных продуктов, образующихся при культивировании продуцентов (в первую очередь CO₂);*
- 3) определение коэффициентов реакций, связывающих утилизируемые субстраты и O₂ с получаемыми целевым и побочными продуктами. Пилотные установки*

Используются для поиска (отсюда и название) наиболее целесообразных технологий и в общих чертах моделирования промышленного процесса.



Поэтому на данном этапе стараются применять тот тип аппарата, который предполагается использовать в промышленном масштабе. Иными словами, обрабатываются все аспекты производства, вплоть до штатных вопросов.

При масштабных переходах следует постоянно иметь в виду, что даже при соблюдении одинаковых условий (среда, тип аппарата, температура и pH, скорость перемешивания) уровень и скорость синтеза целевого продукта могут существенно различаться - ситуация, очень четко прослеженная еще в 1940 – 1950 гг. при организации крупномасштабных производств антибиотиков.

Вследствие сказанного при переходе от лабораторных к пилотным, а затем от пилотных к промышленным установкам, приходится наряду с объемом изменять и конструкцию, и подбирать режимы работы аппаратов.

4. Водоподготовка: примеси, типы используемой в производстве воды, предподготовка, системы получения, распределения и хранения воды очищенной.

Ответ:

Вода используется практически на всех стадиях производства:

- мойка помещений и оборудования,
- санитарно-гигиенические цели,
- приготовление аналитических растворов,
- теплоноситель и хладагент,
- приготовление полупродуктов и готового продукта.

Системы для производства воды являются ключевым компонентом производственного предприятия.

Подготовка воды состоит в минимизации или устранении потенциальных источников загрязнения.

Качество воды и пара критично не только с точки зрения регулятивных предписаний, но и с финансовой точки зрения.

Соответствие воды и пара требованиям НД (спецификациям) оказывает значительное влияние на расходы в течение срока службы конкретных аппаратов и систем в которых вода / пар используются.

Вещества, содержащиеся в воде

- взвеси, примеси (ил, пыль, пыльца, кремний, железо)
- ионные вещества (растворенные соли, соли жесткости)
- органические вещества (продукты гниения, гуминовые кислоты, пестициды)
- микроорганизмы и продукты их жизнедеятельности, в том числе пирогены (эндотоксины)
- Виды воды, используемой на предприятии Вода питьевая
- Вода умягченная Во-
- да очищенная:



- вода для лабораторного анализа (ГОСТ 52501-2005 / ИСО 3696:1987),
- вода для ВЭЖХ / спектральных анализов,
- вода бидистиллированная,
- вода деионизированная,
- вода ультравысокой степени очистки (не менее 18 МОм), вода для инъекций (стерильность, апирогенность)
- Качество воды лабораторного назначения
- По назначению и степени чистоты воду можно разделить на несколько ти- пов:
- ВОДА ТИП 3
- Вода общелабораторного назначения (ГОСТ 6709-97 «Вода дистиллированная»; вода 3 типа по ASTM, NCCLS, ISO 3696, CAP), удельная электропроводность воды не более 5 мкСм /см или $> 0,2 \text{ МОм} \cdot \text{см}$ ВОДА ТИП 2
- Вода аналитического качества (ASTM, NCCLS, ISO 3696, CAP), удельная электропроводность воды не более 1 мкСм /см или $> 1,0 \text{ МОм} \cdot \text{см}$
- ВОДА ТИП 1
- Вода реагентного качества (ASTM, NCCLS, ISO 3696, CAP), удельная электропроводность воды $> 18,0 \text{ МОм} \cdot \text{см}$
- Подготовка воды
 - Грубая фильтрация (удаление грубых механических частиц)
 - Ультрафильтрация (удаление коллоидных частиц, органических веществ, бактерий вирусов)
 - Угольный фильтр (удаление хлора)
 - Осветление
 - Обезжелезивание (удаление ионов железа)
 - Корректировка pH
 - Использование антискалантов (ингибиторов осадкообразования) позволяет минимизировать вероятность образования нежелательного кристаллического образования на мембранах, как правило за счет ионов Ca и Mg.
 - Умягчение (замена ионов кальция Ca и Mg на ионы Na)
- Системы распределения воды очищенной
 - холодные тупиковые - в случае незначительного времени между производством и потреблением воды очищенной (не более 1 часа) и небольшим количестве точек ее потребления (не более двух),



- *горячие закольцованные - при необходимости потребления воды очищенной при высоких температурах или при большой протяженности системы распределения (более 50 м),*
- *холодные закольцованные - во всех остальных случаях.*

5. Воздухоподготовка: требования нормативной документации к чистоте воздуха производственных помещений, принципы работы систем распределения воздуха в чистых помещениях.

- *Ответ:*
- *Стандарты: чистота воздуха производственных помещений*
- *ISO 14644 (ГОСТР ИСО 14644)*
- *ГОСТ Р 52539—2006 ЧИСТОТА ВОЗДУХА В ЛЕЧЕБНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ.*
- *ГОСТР ЕН 1822-1 2010. Высокоэффективные фильтры очистки воздуха HEPA, HEPA (High Efficient Particulate Air Filter), ULPA (Ultra Flow Penetration Air Filter).*
- *GMP Приложение 1. Производство стерильных лекарственных средств. Согласно группе стандартов ISO 14644 (ГОСТР ИСО 14644), разработанному Международной Организацией Стандартизации (ISO) чистое помещение, это: Помещение, в котором, контролируется счетная концентрация аэрозольных частиц и бактерий, и которое построено и используется так, чтобы свести к минимуму поступление, генерацию и накопление частиц внутри помещения, в котором, при необходимости, контролируются другие параметры, например, температура, влажность, давление и т.д.*
- *Первые чистые помещения создавались в больницах для защиты от бактерий.*
- *Сначала использовали антисептический подход, позже - создание современных чистых помещений асептическими методами, без приточной вентиляции с фильтрацией воздуха.*
- *К началу 60-х 20 века разработаны основные принципы турбулентно вентилируемых помещений.*
- *Шла разработка и внедрение высокоэффективных воздушных фильтров HEPA (High Efficiency Particulate Air) для очистки воздуха от опасных микробиологических и радиоактивных аэрозольных загрязнений.*
- *Переломным моментом в истории чистых помещений стала разработка концепции вентиляции с однонаправленным (ламинарным) потоком воздуха.*
- *Помещения с однонаправленным потоком воздуха позволили добиться уровня чистоты на несколько порядков выше, чем это удавалось ранее.*

Неоднонаправленный (турбулентный) поток воздуха

Распределение воздуха, при котором поступающий в чистую зону воздух смешивается с внутренним воздухом



посредством подачи струи приточного воздуха. Однонаправленный (ламинарный) поток воздуха

Контролируемый поток воздуха с постоянной скоростью и примерно параллельными линиями тока по всему поперечному сечению чистой зоны.

Классы чистоты чистых помещений: A, B, C, D

Особенности эксплуатации ЧП

Уровень загрязнения воздуха зависит от происходящих в помещении процессов, в ходе которых образуются частицы. В пустом помещении можно достичь очень низкой концентрации частиц, которая практически соответствует качеству подаваемого в него воздуха.

Если в помещении установлено оборудование и тем более оно работает, то концентрация частиц увеличивается, наибольших значений она достигает в помещениях, где проводятся технологические операции.

Класс A - локальная зона для проведения операций, представляющих высокий риск для качества продукции, в частности, зоны наполнения, укупорки, зоны, где ампулы и флаконы находятся в открытом состоянии и выполняются соединения частей оборудования в асептических условиях. Как правило, такие условия обеспечиваются ламинарным потоком воздуха на рабочем месте.

Класс B - зона, непосредственно окружающая зону класса A, предназначенную для асептического приготовления и заполнения;

Классы C и D - чистые зоны для выполнения менее критичных стадий производства стерильной продукции.

Методы обеспечения чистоты

- конструкционные материалы, отделка поверхностей;*
- системы приточно-вытяжной вентиляции с многоступенчатой фильтрацией воздуха (использование высокоэффективных финишных фильтров HEPA, ULPA);*
- обеспечение необходимого для поддержания соответствующего класса чистоты количества подаваемого в помещение воздуха и кратности воздухообмена (от 10 до 100 в час);*
- создание избыточного давления по отношению к соседним, менее чистым помещениям (от 10-15 Па);*
- организация контролируемых каскадов давлений внутри комплексов чистых помещений;*
- организация контролируемых воздушных потоков, особенно в местах возможных выделений пыли, создание локальных зон пылеудаления;*
- применение помещений со смешанным потоком (турбулентно вентилируемого помещения с локальными ламинарными зонами для проведения критических производственных операций);*
- применение изоляторов и минизон с более высоким классом чистоты;*



- контролируемые потоки персонала, сырья, материалов, полупродуктов и готовой продукции;
- обучение и контроль персонала. Санитарная обработка чистых зон
- Зоны необходимо тщательно очищать в соответствии с утвержденной производителем инструкцией. В случае проведения дезинфекции должны применяться несколько типов дезинфицирующих средств. Для выявления развития резистентных штаммов микроорганизмов необходимо проводить регулярный контроль.
- Моющие и дезинфицирующие средства необходимо контролировать в отношении микробиологической чистоты. Их растворы необходимо держать в предварительно очищенных контейнерах (таре) и хранить лишь на протяжении установленных сроков, за исключением тех растворов, которые простерилизованы. Моющие и дезинфицирующие средства, используемые в зонах классов А и В, перед использованием должны быть стерильными.
- Для снижения микробной контаминации в недоступных местах может быть полезна фумигация чистых зон.

6.Стерилизация: методы, оборудование, режимы, виды контроля процесса стерилизации, регистрационные формы.

Ответ:

Все процессы стерилизации должны пройти валидацию, оборудование должно быть метрологически аттестовано, датчики (СИ) – поверены, налажен учет процесса стерилизации по Журналам утвержденной в НД формы.

Особое внимание в биотехнологическом производстве уделяется стерилизации питательных сред и культиваторов.

Предпочтительными являются физические методы стерилизации (текущий пар под давлением).

Биологические индикаторы используют строго как дополнительный метод контроля стерилизации с жесткими мерами по предотвращению контаминации от самих индикаторов.

Должна быть четко установлена периодичность контроля процесса стерилизации:

Контроль термо-индикаторами – каждый цикл, каждая единица, Биологический контроль – один раз в установленный на предприятии период.

Стерилизация физическими методами

Каждый цикл термической стерилизации должен быть записан в виде диаграммы в координатах время-температура в достаточно большом масштабе или быть зарегистрирован с помощью другого соответствующего оборудования, имеющего необходимую правильность и точность.

Место расположения температурных датчиков, используемых для контроля и (или) записи, должно быть определено во время валидации и в случае необходимости также



проверено с помощью другого независимого температурного датчика, расположенного в том же месте.

Допускается использовать химические и биологические индикаторы, но они не должны заменять проведение физических измерений.

Должно быть предусмотрено достаточное время, чтобы весь объем загрузки достиг необходимой температуры до того, как будет начат отсчет времени стерилизации. Этот период должен быть определен для каждого типа стерилизуемой загрузки.

После завершения высокотемпературной фазы цикла термической стерилизации должны быть приняты меры предосторожности, предотвращающие контаминацию простерилизованной загрузки во время охлаждения.

Любая охлаждающая жидкость или газ, контактирующие с продукцией, должны быть простерилизованы, кроме случаев, когда возможность использования негерметичных упаковок исключена и приведены соответствующие доказательства.

Стерилизация паром под давлением

При стерилизации паром необходимо контролировать температуру и давление.

Рекомендуется, чтобы средства управления были независимы от средств контроля и записывающих устройств.

Если для этой цели используются автоматические системы управления и контроля, они должны пройти валидацию, чтобы гарантировать их соответствие требованиям к критическому процессу. Нарушения в ходе процесса должны регистрироваться системой и находиться под надзором оператора.

В ходе процесса стерилизации показания независимого датчика температуры необходимо постоянно сверять с данными диаграммы записывающего устройства.

Необходимо обеспечить контакт всех частей загрузки со стерилизующим агентом при заданных температуре и времени.

Необходимо обеспечить, чтобы для стерилизации применялся пар надлежащего качества, не содержащий такого количества примесей, которое могло бы вызывать контаминацию продукции или оборудования.

Стерилизация сухим жаром

При сухожаровой стерилизации должны быть предусмотрены циркуляция воздуха внутри камеры и поддержание избыточного давления для предотвращения попадания внутрь нее нестерильного воздуха.

Любой поступающий внутрь воздух должен проходить через фильтры высокой эффективности (HEPA-фильтр).

Если стерилизация предусматривает устранение пирогенов, то как часть валидации должны быть проведены испытания с преднамеренным использованием эндотоксинов.

Радиационная стерилизация

Радиационную стерилизацию используют главным образом для стерилизации термочувствительных материалов и продукции.



Многие вещества и некоторые упаковочные материалы чувствительны к ионизирующему излучению, следовательно, этот метод допустим только тогда, когда было экспериментально подтверждено отсутствие вредного влияния на продукцию. Облучение ультрафиолетовым излучением не является приемлемым методом стерилизации в промышленности.

Стерилизация оксидом этилена

Этот метод может быть использован только тогда, когда невозможно использование другого способа.

При валидации процесса должно быть доказано, что отсутствует повреждающее влияние на продукцию, а предусмотренные для дегазации условия и время таковы, что количество остаточного газа и продуктов реакции будет находиться в допустимых пределах, установленных для данного вида продукции или материала.

Стерилизующая фильтрация

Проведение стерилизующей фильтрации не является достаточным условием стерилизации, если возможно проведение стерилизации продукции в окончательной упаковке.

Предпочтительным является метод стерилизации паром.

Если продукция не может быть простерилизована в окончательной упаковке, то растворы или жидкости могут быть профильтрованы через стерильный фильтр с номинальным размером пор 0,22 мкм (или менее) или через фильтр с аналогичной способностью задерживать микроорганизмы в предварительно простерилизованные контейнеры (упаковки).

Такие фильтры могут удалять большинство бактерий и плесневых грибов, но не все вирусы или микоплазмы.

Поэтому должна быть рассмотрена возможность дополнения процесса фильтрации термической обработкой определенной степени.

7.Классификация биотехнологических процессов.

Ответ:

Основные группы процессов БТ производства

Гидродинамические - процессы, основой которых является движение в жидких и газообразных системах (перемешивание, фильтрация, осаждение).

Механические - процессы, основой которых является механическое воздействие на материалы (измельчение, смешение, сортирование, прессование).

Тепловые - процессы, основой которых является изменение теплового состояния сред, участвующих в процессе (нагревание и охлаждение, выпаривание, конденсация).

Массообменные (диффузионные) - процессы, основой которых является массообмен между фазами (абсорбция и адсорбция, экстракция, сушка, кристаллизация, перегонка).



Химические и биохимические процессы – процессы, связанные с изменением химического состава и свойств вещества, скорость протекания которых определяется законами химической кинетики.

Разделение процессов производства по организационно-технологическому признаку

Непрерывный процесс – все стадии процесса протекают одновременно в различных аппаратах или различных частях одного аппарата; Периодический процесс – все стадии процесса протекают в одном аппарате, но в разное время;

Комбинированный процесс – отдельные стадии процесса сочетают в себе либо непрерывный, либо периодический процессы.

Преимущества непрерывных процессов:

- 1. отсутствуют затраты времени на загрузку и выгрузку материалов;*
- 2. возможность более полной механизации;*
- 3. большая компактность оборудования (сокращает капитальные и эксплуатационные расходы);*
- 4. более полное использование тепла (за счет отсутствия остановок во время работы).*

8. Законы сохранения массы и энергии: материальный и тепловой балансы биотехнологического процесса.

Ответ:

При расчетах аппаратов определяют массовые потоки перерабатываемого материала, количество необходимой энергии, площадь теплообмена или размеры аппарата.

Расчет проводят в следующей последовательности:

- 1. составляют материальный и энергетический балансы рассматриваемого процесса;*
 - 1. определяют направление протекания процесса и условия равновесия;*
 - 2. определяют движущую силу;*
 - 3. определяют скорость;*
 - 4. по величине движущей силы и найденной скорости процесса находят рабочую поверхность аппарата.*

Материальный баланс

Материальный баланс необходим для определения выхода готового продукта на единицу затраченного сырья.

На основании закона сохранения массы, количество исходного вещества

$\sum G_n$ должно быть равно количеству получившегося вещества $\sum G_k$ с учетом потерь $\sum G_n$:
 $G_n = G_k + G_n$

Под выхода готового продукта понимают выраженное в процентах отношение полученного количества вещества к максимально возможному. Материальный баланс составляется:

- для всего процесса в целом,*



- для отдельных его стадий. Тепловой баланс

На основании закона сохранения энергии, количество введенной энергии

$\sum Q_n$ должно быть равно количеству выделившейся энергии $\sum Q_k$ с учетом потерь $\sum Q_p$:

$$Q_n = Q_k + Q_p$$

Частным случаем энергетического баланса является тепловой баланс. Тогда количество введенной теплоты $\sum Q_n$ складывается из теплоты Q_1 , поступающей с исходным веществом, теплоты Q_2 , подводимой извне (например, с теплоносителями) и теплоты физических или химических превращений Q_3 .

Количество выделившегося тепла $\sum Q_k$ складывается из теплоты, удаляемой с конечным веществом и отводимой теплоносителем, а также из потерь тепла $\sum Q_p$.

Из теплового баланса находят расход водяного пара, воды, а также расходы других теплоносителей.

9. Законы фазового равновесия, масштабного перехода и моделирования, теория подобия.

Ответ:

Направление изменения в состоянии системы при внешнем воздействии опирается на два положения термодинамики: принцип Ле-Шателье и правило фаз Гиббса.

Принцип Ле-Шателье:

Если на систему, находящуюся в равновесии, воздействует какая-то сила извне, то в системе происходят изменения, приводящие ее в новое

состояние равновесия и направление действия этих сил при этом изменении противоположно к внешним силам.

Правило фаз Гиббса

- устанавливает зависимость между числом компонентов системы K , числом фаз f и числом степени свободы S :

$$S = K - f + 2$$

Фаза – определенное количество вещества, физически однородное во всей массе. Система может состоять из одной или нескольких фаз.

Компонент – чистые химические соединения, из которых состоят фазы и которые могут переходить из одной фазы в другую.

Состояние системы определяется совокупностью ее интенсивных свойств – параметров, в качестве которых приняты: давление, температура, концентрация, удельный объем.

Число независимых параметров, которое может быть выбрано произвольно и определяет значение остальных параметров, носит название числа степеней свободы.

Примеры применения принципа Ле-Шателье и Правило фаз Гиббса

Принцип Ле-Шателье: Имеется закрытый сосуд с поршнем в верхней части. В сосуд наливается вода, над поверхностью которой под поршнем находится пар. При опускании поршня в сосуде создается давление. Согласно принципу Ле-Шателье при соблюдении изотермических



условий в рассматриваемой системе должен начаться противодействующий процесс. Этим процессом будет конденсация пара, что и наблюдается в действительности. Правило фаз Гиббса используется при решении вопроса о равновесии в многофазных системах.

Пусть имеется закрытый сосуд, в котором налит раствор этилового спирта в воде. В этой системе число фаз 2: пар и жидкость. Число компонентов также 2: этиловый спирт и вода. Следовательно, число степеней свободы равно 2.

Параметрами, определяющими состояние этой системы, будут температура, давление и концентрация спирта. Значит, из этих трех параметров мы можем произвольно установить 2, например концентрацию и температуру. Давление же, определяемое природой системы, устанавливается независимо от нас.

10. Общие принципы расчетов биотехнологических процессов и аппаратов, предъявляемые к аппаратам требования, оценка технико-экономической эффективности аппаратов, общие принципы оценки эффективности биотехнологических процессов.

Принципы расчета процессов и аппаратов БТП

Расчет машин и аппаратов предусматривает определение:

- массовых потоков перерабатываемых материалов,
- количеств необходимой энергии,
- оптимальной площади теплообменной поверхности (объема) аппарата,
- продолжительности процесса,
- основных размеров машин и аппаратов. Анализ кинетических закономерностей позволяет:
- оценить условия процесса,
- определить оптимальные условия, соответствующие минимальным размерам машин и аппаратов.

Требования, предъявляемые к машинам и аппаратам, оценка их технико-экономической эффективности

К аппаратам и машинам предъявляют следующие требования: аппарат (машина) должен быть высокоэффективным (высокопроизводительным), надежным, мало энерго- и металлоемким, удовлетворять требованиям безопасности работы и быть удобным в обслуживании.

Эксплуатационные достоинства определяются удобством обслуживания, простотой и низкими затратами на эксплуатацию.

Степень совершенства конструкции характеризуют техникоэкономические показатели:

- производительность оборудования,
- расходные коэффициенты,



- стоимость и расходы на его эксплуатацию,
- себестоимость продукции.

Общий алгоритм анализа процессов и расчет машин и аппаратов

- составляют материальный и энергетический балансы процесса;
- исходя из статике, определяют направление течения процесса и условия равновесия;
- вычисляют движущую силу;
- на основании кинетики определяют скорость процесса.

По данным о скорости процесса и величине движущей силы при найденном оптимальном режиме процесса определяют основной размер аппарата:

- рабочий объем,
- рабочую площадь поверхности.

По основному размеру определяют все остальные размеры аппарата.

11. Основные составляющие биотехнологического процесса, особенности математического моделирования биотехнологических процессов.

Основные составляющие биотехнологического процесса



В большинстве технологий, применяемых в настоящее время, наиболее стабильной, эффективной и удобной формой биологического агента является целый микроорганизм, поэтому так много биотехнологий используют микробные процессы.

Микроорганизмы могут сохранять очень высокую скорость роста, благодаря этому огромные количества их могут быть получены при благоприятных условиях в короткий промежуток времени.

Ведется селекция нужных форм микроорганизмов из диких штаммов, модификация с помощью мутаций или методами генной инженерии.

Часто используется не целый микроорганизм, а выделенные из него и очищенные компоненты (наработка, выделения и очистка отдельных ферментов / белков / иных веществ и их стабилизация в искусственной среде).



Центральная часть биотехнологического процесса (биореактор) включает все аспекты поддерживающей системы, внутри которой для биологического агента или его составных частей создаются оптимальные условия. Дизайн и приборное оформление, необходимое для создания и контроля физико-химических параметров, таких как температура, аэрация, pH и т.д.

Процесс выделения и очистки целевого продукта технически трудновыполним и дорог, сводится к разделению содержимого биореактора на жидкую и твердую фазы с последующей концентрацией и очисткой нужного продукта. Стоимость его значительно варьирует от 20 до 70 % себестоимости целевого продукта.

Культивирование продуцента (ферментация)

Ферментация может быть:

- аэробной и анаэробной,*
- глубинной и поверхностной,*
- периодической и непрерывной,*
- с иммобилизованным продуцентом и находящимся в суспензии и т.д.*

Периодическое глубинное культивирование представляет собой закрытую систему, в которой скорость роста биомассы стремится к нулю в результате усвоения субстрата и накопления ингибиторов. Такие системы всегда находятся в неустойчивом состоянии.

Современное, более эффективное - непрерывное культивирование - проводят путем непрерывного введения в хорошо перемешиваемую культуру свежей питательной среды при одновременном удалении из системы эквивалентного количества культуральной жидкости с содержащимися в ней микробными клетками и продуктами биосинтеза. В такой культуре рост может поддерживаться длительное время.

Законы масштабного перехода и моделирования существуют три метода исследования процессов:

1 Экспериментальный – отличается достоверностью получаемых результатов, но относительно дорогостоящий.

2 Аналитический – основан на анализе дифференциальных уравнений. Отличается дешевизной, но недостаточно точен.

3 Синтетический – основан на законах масштабного перехода и моделирования, в основе которых лежит теория подобия. Поэтому методу эксперименты проводятся на лабораторных моделях, в результате чего составляется математическое описание данного процесса в виде критериального уравнения. Далее это уравнение анализируется для всех подобных аппаратов и процессов, протекающих в этих аппаратах. Подобными называются такие процессы, которые протекают в геометрически подобных аппаратах, имеют равные численные значения критериев в сходственных точках и имеют одинаковые граничные условия. Геометрическое подобие аппаратов заключается в том, что соотношение всех сходственных размеров сравниваемых аппаратов является величиной постоянной.



Временное подобие заключается в том, что отношение между интервалами времени завершения аналогичных стадий процесса сохраняется постоянным.

Подобие физических величин предполагает, для двух любых сходственных точек натуры и модели, размещенных подобно в пространстве и времени, отношения физических свойств являются величинами постоянными.

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.

Три теоремы теории подобия

Первая: при подобии процессов равны все критерии подобия. Задает вопрос: что нужно измерить в ходе эксперимента.

Ответ – измерять нужно те величины или параметры, которые входят в критерии подобия.

Вторая: результаты опытов следует представлять в виде зависимостей между критериями (функциональные критериальные уравнения).

Задает вопрос: в каком виде необходимо представить результаты эксперимента на модели.

Ответ – их необходимо представить в виде критериальных уравнений. Третья: критериальные уравнения применимы только для подобных процессов.

Задает вопрос: на какие аппараты можно распространить полученные экспериментально критериальные уравнения.

Ответ – полученные уравнения можно распространить на геометрически пропорциональные аппараты, в которых соблюдены условия равенства критериев в сходственных точках и граничные условия.

Теория подобия позволяет совместить плюсы экспериментальных и аналитических методов исследования, то есть максимальную выгоду при минимуме материальных затрат.

Допущения при математическом моделировании БТП

Построение математических моделей осуществляют на основе упрощенного представления (допущений) о механизме микробиологического синтеза культуры в целом и использования балансовых соотношений:

- баланса по веществам, образуемым и расходуемым, т.е. материального баланса,
- баланса по теплу, т.е. теплового баланса ферментера. Допущения могут быть следующими:

- 1) скорость процесса массопередачи в культиваторе не лимитирует роста и развития микроорганизма;



2) изменением состава популяции за счет мутации исходного штамма, эффекта отмирания и других причин нестандартности свойств популяций можно пренебречь;

3) учитываются только основные результирующие процессы жизнедеятельности организма – процесс потребления лимитирующего субстрата и процесс роста популяции клеток;

4) термодинамические (температура и давление) и параметрические (pH, Eh, и др.) переменные стабилизируются;

5) гидродинамический режим близок к идеальному смешению;

6) рабочий объем культиватора меняется незначительно. Факторы, учитываемые при математическом моделировании БТП

Основные факторы, влияющие на рост и развитие микробов, можно разделить на две группы:

- внутриклеточные факторы, обусловленные структурой;
- специфическими особенностями бактерии, и внеклеточные факторы, т.е. условия внешней среды.

Соответственно кинетические уравнения можно подразделить на две большие группы: однофакторные и многофакторные. Оценка эффективности биотехнологических процессов

Оценкой эффективности биотехнологических процессов может служить сопоставление экспериментального выхода продукта с теоретическим выходом, рассчитанным по материально энергетическому балансу процесса.

12.Виды механических процессов: измельчение, классификация, прессование, аппараты.

Ответ:

Механические процессы – это производственные процессы, приводящие лишь к изменению формы материала без изменения физико-химических характеристик.

К механическим процессам относятся:

- измельчение:
- дробление (крупное, среднее и мелкое),
- измельчение (тонкое и очень тонкое),
- изрезание.
- классификация материалов, прессование материалов. Измельчение

Измельчение осуществляется под действием внешних сил, преодолевающих силы взаимного сцепления частиц материала.



При дроблении куски твердого материала сначала подвергаются объемной деформации, а затем разрушаются по ослабленным дефектами (макро- и микротрещинами) сечениям с образованием новых поверхностей.

Куски продуктов дробления, ослабленные трещинами, значительно мельче исходных.

Поэтому с увеличением степени измельчения возрастает расход энергии на измельчение.

На измельчающих машинах можно проводить различные процессы измельчения, начиная от измельчения глыб и кончая коллоидным измельчением, позволяющим получать продукт с частицами размером до 0,1 мкм.

- Основные измельчающие машины подразделяются на следующие типы: щековые дробилки,*
- гирационные, молотковые и дробилки ударного действия; протирочные машины;*
- валковые мельницы и бегуны,*
- шаровые и стержневые, кольцевые, мельницы, вибрационные, коллоидные мельницы.*

Классификация

Это процесс разделения однородного сыпучего материала по величине его частиц.

По технологическим требованиям часто требуется направлять на переработку куски (частицы) материалов, размеры которых должны находиться в строго определенных пределах. Процесс измельчения характеризуется степенью измельчения, т.е. отношением среднего размера куска до измельчения dH к среднему размеру куска после измельчения dK . В зависимости от начальных и конечных размеров наибольших кусков и частиц материала измельчение подразделяется на следующие виды: крупное, среднее, мелкое, тонкое, коллоидное.

Крупное и среднее измельчение проводят сухим способом, а мелкое и тонкое – мокрым способом обычно в воде.

Виды классификации

–механическая, которая заключается в рассеве сыпучих материалов на ситах, решетках или других устройствах (грохоты или сепараторы): через отверстия просеивающего устройства проходят частицы материала (проход), размеры которых меньше размеров отверстий, не прошедшие через сита куски или частицы (сход) направляются на дополнительное измельчение;

–гидравлическая классификация – разделение смеси твердых частиц на фракции в зависимости от скорости оседания частиц в жидкости, осуществляется в горизонтальном или восходящем потоке воды (гидроциклоны);

–воздушная сепарация – разделение смеси твердых частиц на фракции в зависимости от скорости отстаивания частиц в воздухе, осуществляется в восходящем потоке воздуха в циклонных аппаратах.

Прессование



В данном процессе обрабатываемый материал подвергают внешнему давлению в специальных прессах.

Цели прессования:

- обезвоживание - под действием избыточного давления, которое прикладывается к материалу двумя способами: давлением поршня в прессах или действием центробежной силы в центрифугах,*
- брикетирования твердых материалов – в основе процесса распределение давления прессования по высоте брикета,*
- гранулирования,*
- формования пластичных материалов - проводят в экструдерах с целью получения полуфабрикатов или готовых изделий при комплексном воздействии давления, температуры, влажности и напряжения сдвига.*

13.Разделение неоднородных систем: отстаивание, осаждение, фильтрование, аппараты, принципы расчета фильтровального оборудования.

Ответ:

Отстаивание, осаждение, фильтрование – относятся к гидромеханическим процессам.

Осаждение - процесс разделения жидких и газовых неоднородных систем под действием гравитационных сил, сил инерции (центробежной силы) или сил электрического поля: различают гравитационное отстаивание, циклонное и отстойное центрифугирование, электроочистку.

Фильтрование - процесс разделения жидких и газовых неоднородных систем с использованием пористой перегородки, способной пропускать жидкость и газ, но задерживающей взвешенные частицы, осуществляется под действием сил давления или центробежных сил. Фильтрование более эффективно для разделения суспензий, эмульсий и пылей, чем осаждение.

Разделение неоднородных систем

Содержание взвешенных частиц в очищенном продукте и в осадке определяется в зависимости от технологических требований и зависит от метода разделения, что важно учитывать при составлении материального баланса.

На практике приходится иметь дело с так называемым стесненным отстаиванием при значительных концентрациях твердых частиц в среде.

При стесненном отстаивании скорость оседания частиц ниже, чем при свободном, вследствие трения и соударений частиц между собой.

При фильтровании поток жидкости проходит через пористую перегородку из твердого или волокнистого материала, которая может быть представлена как слой зернистого материала.

Движение потока жидкости при фильтровании обычно ламинарное. Отстаивание



Это частный случай разделения неоднородных жидких или газообразных систем в результате выделения твердых или жидких частиц под действием гравитационной силы, применяют при грубом разделении суспензий, эмульсий и пылей.

Этот способ разделения характеризуется:

- низкой скоростью процесса,*
- не удастся полностью разделить неоднородную смесь на дисперсную и дисперсионную фазы,*
 - простое аппаратное оформление процесса,*
 - низкие энергетические затраты.*

Отстаивание проводят в аппаратах различных конструкций, отстойниках, которые рассчитывают на отстаивание самых мелких частиц.

При движении суспензии в отстойнике происходит отстаивание: твердые частицы оседают на дно, образуя слой осадка.

Осаждение под действием центробежной силы используют для разделения: пылей, суспензий и эмульсий.

Для создания поля центробежных сил используют два технических приема:

- поток жидкости или газа вращается в неподвижном аппарате, процесс называется циклонным, а аппарат – циклоном;*
- поток поступает во вращающийся аппарат и вращается вместе с ним, процесс называется отстойным центрифугированием, а аппарат – отстойной центрифугой или сепаратором.*

Во вращающемся потоке на взвешенную частицу действует центробежная сила, под действием которой частица движется от центра к стенке аппарата со скоростью, равной скорости осаждения.

Эффективность разделения в поле центробежных сил повышается с увеличением частоты вращения ротора центрифуги. Фактор разделения является важной характеристикой центрифуги, определяющей ее разделяющую способность.

Процесс разделения суспензий в отстойных центрифугах складывается из стадий осаждения твердых частиц на стенках барабана и уплотнения осадка.

Коэффициент эффективности для каждой конкретной конструкции центрифуг определяется опытным путем.

Оборудование для отстаивания и осаждения Отстойники бывают:

- Периодического действия – это плоский бассейн без перемешивающих устройств, заполняется суспензией, которая отстаивается в нем в течение необходимого для разделения времени;*
- Непрерывного действия - цилиндрический резервуар с коническим днищем и внутренним кольцевым желобом вдоль верхнего края отстойника, мешалка с*



наклонными лопастями, на которых расположены гребки для перемещения осадка, вращается с переменной частотой от 0,02 до 0,5 / мин;

- Полунепрерывного действия – суспензия подается внутрь через штуцер и направляется с помощью наклонных перегородок попеременно сверху вниз и снизу вверх.

Аппараты для осаждения под действием центробежной силы

Центрифуги могут быть:

- с вертикальным и горизонтальным расположением вала и барабана,*
- периодического действия (подвод суспензии и выгрузка осадка производятся периодически),*
- полунепрерывного (суспензия подается непрерывно, а осадок выгружается периодически),*
- непрерывного действия (подача суспензии и выгрузка осадка осуществляются непрерывно).*

Отстойные центрифуги бывают:

- периодического действия с ручной выгрузкой,*
- автоматические отстойные центрифуги (загрузка материала, промывка, пропаривание и выгрузка осадка выполняются автоматически). Сверхцентрифуги имеют ротор малого диаметра – не более 200 мм, вращающийся с большой скоростью – до 4500 в мин. Фактор разделения составляет*
- 15000. В таких центрифугах разделяют очень тонкие суспензии и эмульсии.*

Сепараторы применяются для разделения тонкодисперсных суспензий и эмульсий, обеспечивают эффективное отделение, в частности, дрожжей от сброженной бражки, тонкое осветление виноматериалов.

Гидроциклоны (рисунок 2.14) применяют для осветления, обогащения суспензий, классификации твердых частиц по размерам от 5 до 150 мкм, а также для очистки сточных вод после мойки пищевых агрегатов.

Виды фильтрования

В зависимости от вида фильтровальной перегородки и свойств самой суспензии фильтрование происходит:

- с образованием осадка на поверхности перегородки (диаметр твердых частиц больше диаметра пор перегородки) способ осуществим при концентрации твердой фазы суспензии более 1 % по массе, когда создаются благоприятные условия для образования сводиков над входами в поры фильтровальной перегородки, чему способствует увеличение скорости осаждения и концентрации твердой фазы в суспензии;*



- с закупориванием пор фильтрующей перегородки происходит, когда твердые частицы проникают в поры фильтровальной перегородки. Закупоривание пор твердыми частицами наблюдается уже в начальный период процесса фильтрования, что снижает производительность фильтра. Для поддержания ее на должном уровне фильтр регенерируют, промывая обратным током жидкости либо прокаливая металлические фильтровальные перегородки;
- с тем и другим явлениями одновременно (промежуточный вид фильтрования) имеет место в случае одновременного закупоривания пор фильтровальной перегородки и отложения осадка на поверхности фильтровальной перегородки

Особенности процесса фильтрования

Для повышения скорости фильтрования при разделении суспензий с небольшой концентрацией твердой фазы либо содержащих слизистые вещества фильтрование проводят в присутствии вспомогательных веществ, препятствующих закупориванию пор фильтровальной перегородки. Слой вспомогательного вещества наносят на фильтровальную перегородку перед фильтрованием суспензии. В качестве вспомогательных веществ используют тонкодисперсные угли, перлит, асбест, кизельгур, фиброфло, асканит и другие материалы.

Движущая сила процесса фильтрования – разность давлений по обе стороны фильтровальной перегородки либо центробежная сила.

Разность давлений можно получить разными способами:

- созданием избыточного давления над фильтровальной перегородкой;
- подсоединением пространства под фильтровальной перегородкой к вакуумной линии.

В этих случаях фильтрование происходит при постоянном перепаде давлений и скорость процесса прямо пропорциональна разности давлений и обратно пропорциональна сопротивлению осадка.

Фильтрование под действием центробежной силы

Фильтрование под действием центробежной силы проводят в фильтрующих центрифугах.

Фильтрующая центрифуга в отличие от отстойной имеет перфорированный барабан, обтянутый внутри фильтровальной тканью.

Суспензия под действием центробежной силы отбрасывается на фильтровальную ткань. Дисперсионная жидкая фаза фильтруется через ткань, фильтрат выводится из центрифуги, а взвешенные частицы задерживаются на фильтровальной ткани, образуя осадок.

Процесс фильтрования можно разделить на три периода:

- образование осадка,
- уплотнение осадка,



- *отжим осадка.*

Оборудование для фильтрации

По принципу действия фильтровальное оборудование делится на:

- *работающее при постоянном перепаде давления,*
- *при постоянной скорости фильтрации;*

По способу создания перепада давления на фильтровальной перегородке:

- *на работающее под вакуумом,*
 - *либо под избыточным давлением. В зависимости от организации процесса:*
- *непрерывного действия,*
- *периодического действия.*

Избыточное давление может создаваться силами:

- *давления (фильтры), центробежной силой (центрифуги).*

Фильтры, используемые для разделения суспензии, работают:

- *под вакуумом,*
- *под избыточным давлением,*
- *периодически и непрерывно.*
- *к фильтрам, работающим под давлением, предъявляют повышенные требования к механической прочности, изготавливают по нормам Ро- стехнадзора для сосудов, работающих под давлением.*

Фильтрующие центрифуги бывают:

периодического и непрерывного действия,

по расположению вала на вертикальные и горизонтальные,

по способу выгрузки осадка – с ручной, гравитационной, пульсирующей и центробежной выгрузкой осадка.

Главным отличием фильтрующих центрифуг от отстающих является то, что они имеют перфорированный барабан, обтянутый фильтрующей тканью.

Нутч-фильтр широко распространен в малотоннажных производствах, работает как под вакуумом, так и под избыточным давлением.

Выгрузка осадка механизирована, для сброса осадка фильтр снабжен перемешивающим устройством в виде однолопастной мешалки, для удаления осадка из фильтра на цилиндрической части корпуса предусмотрен люк.

Рамный фильтр-пресс используется для осветления виноматериалов, вина, молока и пива. Фильтрующий блок состоит из чередующихся рам и плит с зажатой между ними фильтровальной тканью или картоном, рамы и плиты зажимаются в направляющих зажимным винтом, фильтр монтируют на металлической станине.

При многотоннажных производствах используют фильтр-пресс автоматизированный камерный с механизированной выгрузкой осадка, барабанные



вакуум-фильтры, дисковые фильтры, ленточные фильтры Расчет фильтровального оборудования

Расчет фильтровального оборудования периодического действия заключается в определении количества аппаратов для обеспечения

заданной суточной производительности по фильтрату: выбирают или рассчитывают площадь поверхности фильтрования и производительность одного аппарата.

Расчет фильтровального оборудования непрерывного действия при заданной или принятой площади поверхности фильтрования сводится к определению:

- по заданной производительности скорости перемещения поверхности фильтрования,*
- необходимого числа аппаратов для обеспечения заданной производительности.*

На основании экспериментальных данных принимают наименьшую толщину осадка, чтобы обеспечить максимальную производительность.

На основании экспериментальных или расчетных данных определяют:

- продолжительность промывки осадка,*
- общую продолжительность цикла,*
- производительность аппарата.*

14.Разделение неоднородных систем: мокрая очистка газов, аппараты, осаждение под действием электрического поля, псевдооживление, аппараты. Ответ:

Мокрая очистка газов, аппараты, осаждение под действием электрического поля, псевдооживление – относятся к гидромеханическим процессам. Разделение газовых неоднородных систем

Очистку газов от взвешенных твердых или жидких частиц проводят:

- в целях уменьшения загрязненности атмосферы,*
- улавливания из отходящих газов ценных продуктов.*

Эффективность аппаратов для очистки газов оценивается степенью очистки.

Для очистки газовых потоков от крупных (свыше 100 мкм) взвешенных частиц используют:

- гравитационноеосаждение,*
- осаждение под действием инерционных и центробежных сил (центрифугирование).*

Для тонкой очистки газов от взвешенных частиц размером менее 20 мкм используют:

- фильтрование газового потока через пористую перегородку,*
- мокрую очистку, которая осуществляется в орошаемых водой скрубберах,*
- осаждение в электрическом поле.*

Для достижения требуемой степени очистки газового потока способы часто комбинируют.



Закономерности процессов осаждения и фильтрации газовых неоднородных систем аналогичны закономерностям процессов осаждения и фильтрации твердых частиц в капельной жидкости и отдельно не рассматриваются.

Мокрая очистка газов

Применяют тогда, когда допустимы увлажнение и охлаждение газа, взвешенные частицы имеют незначительную ценность.

Охлаждение газа ниже температуры конденсации находящихся в нем паров способствует увеличению плотности взвешенных частиц.

При этом частицы играют роль центров конденсации и тем самым обеспечивают выделение их из газового потока.

Если взвешенные частицы не смачиваются жидкостью, то очистка газов в мокрых пылеулавливателях малоэффективна.

В этом случае для повышения степени очистки к жидкости добавляют поверхностно-активные вещества.

Степень очистки газов от пыли в мокрых пылеулавливателях колеблется в зависимости от конструкции от 60 до 99 %.

Недостаток мокрой очистки – образование сточных вод, которые также должны очищаться.

Аппараты для мокрой очистки газов

Скрубберы, полые или насадочные - простейшими мокрыми пылеулавливателями для очистки и охлаждения газов. Запыленный газ подается в нижнюю часть скруббера и движется противотоком к жидкости, подаваемой через разбрызгиватель или форсунки со скоростью около 1 м/с. При взаимодействии газа и жидкости происходит механическая очистка газа. Степень очистки достигает 75...85 %.

Пенные барботажные пылеулавливатели для очистки сильно запыленных газов – это тарельчатый скруббер. Запыленный газ подается в нижнюю часть скруббера и движется вверх. Попадая на перфорированную тарелку, куда подается промывная жидкость, газ барботирует через нее, создается подвижная пена, которая обеспечивает большую поверхность контакта и высокую степень очистки газа. В слое пены взвешенные частицы поглощаются жидкостью. Загрязненная жидкость сливается через регулирующий порог. Пенные скрубберы имеют, как правило, несколько перфорированных тарелок. Степень очистки газа в таких аппаратах достигает 99 %.

Скрубберы Вентури - достигается высокая степень очистки, равная 98 %. Недостаток их – большое гидравлическое сопротивление (порядка 1500...7500 Па) и необходимость установки каплеотбойника.

Состоит из двух частей: трубы Вентури, в которой происходит очистка воздуха, и разделителя, предназначенного для отделения капелек воды от газового потока.

Воздух, подлежащий очистке, поступает снизу в вертикальный патрубок, на выходе из которого создается разрежение.



За счет разрежения в трубу Вентури из бачка подсасывается через коллектор вода. В результате в трубе Вентури как на стенках, так и по всему объему происходит интенсивное образование жидкостных пленок, что приводит к очистке газового потока. Осаждению капелек жидкости из газового потока способствует завихритель потока. Жидкость, выделяемая в разделителе, стекает в сборный бачок. Очищенный газовый поток выбрасывается в атмосферу.

Разработаны секционные электрофилтры, в которых газ проходит через ряд последовательно соединенных секций. В электрофилтре с пластинчатыми электродами анодами служат пластины, а коронирующими электродами (катодами) – проволока, натянутая между пластинами.

Расчет электрофилтров заключается в определении длины коронирующих электродов (катодов), при известных сечении филтра и количестве электродов.

Осаждение под действием электрического поля

В электрическом поле тонкодисперсным частицам сообщается электрический заряд, под действием которого происходит их осаждение. Разделение пылей, дымов и туманов в электрическом поле осуществляется на электродах имеет значительные преимущества перед другими способами осаждения.

Для разделения пылей и дымов применяются сухие филтры, для разделения туманов – мокрые.

Простейший электрофилтр – это два электрода, один из которых – анод – выполняется в виде трубы или пластины, а другой – катод – в виде проволоки, которая натянута внутри трубчатого анода либо между пластинчатыми анодами, выполненными из проволоочной сетки. Аноды заземляют.

При соединении электродов с источником постоянного тока на электродах создается разность потенциалов, равная 4...6 кВ/см, обеспечивающая плотность тока 0,05...0,5 мА на 1 м длины катода.

Газовая смесь поступает внутрь трубчатых электродов или между пластинчатыми. Благодаря высокой разности потенциалов на электродах и неоднородности электрического поля (сгущение силовых линий происходит у электрода с меньшей площадью поверхности – катода) в слое газа у отрицательного электрода – катода – образуется поток электронов, направленный к аноду.

В результате соударений электронов с нейтральными молекулами газа газ ионизируется, образуются положительные и отрицательные ионы. Такая ионизация называется ударной. Признаком ионизации газа является образование «короны» у катода, поэтому катод называют коронирующим электродом. Положительные ионы собираются около катода, а отрицательные с большой скоростью движутся к аноду, заряжая взвешенные в газе частицы и увлекая их с собой. Частицы пыли или тумана оседают на аноде, покрывая его слоем осадка.

Псевдооживление



Псевдоожигенным называют такое состояние двухфазной системы твердые частицы – газ (или жидкость), которое характеризуется перемещением твердых частиц относительно друг друга за счет подвода энергии от какого-либо источника.

Псевдоожигенный слой образуется при восходящем движении ожигающего агента через слой зернистого материала со скоростью, позволяющей поддерживать слой материала во взвешенном состоянии.

В вертикальном аппарате, снабженном поперечной перфорированной газораспределительной решеткой, помещен слой тонкодисперсного твердого материала. Ожигающий агент – газ подается в нижнюю часть аппарата под газораспределительную решетку. Перепад давления в слое измеряется дифференциальным манометром.

Состояние двухфазной системы наглядно изображается в виде кривой псевдоожигения. Эта кривая выражает зависимость перепада давления в слое Δp от скорости ожигающего агента v .

Физические аспекты псевдоожигения

При невысоких скоростях газа слой зернистого материала на решетке остается неподвижным, происходит фильтрация газа через слой (кривая ОК на рисунке).

С увеличением скорости газа перепад давления в слое возрастает и в определенный момент масса зернистого материала в слое уравнивается аэродинамическим давлением потока газа – наступает аэродинамическое равновесие, начинается взаимное пульсационное перемещение частиц.

Излом в точке К1 соответствует переходу неподвижного слоя в псевдо- ожигенное состояние. Абсцисса точки К1 определяет скорость газа, при которой начинается псевдоожигение, а ордината – перепад давления в этой точке. Скорость газа (жидкости) v_0 , при которой слой зернистого материала переходит в псевдоожигенное состояние, называется скоростью начала псевдоожигения (первой критической скоростью).

При дальнейшем увеличении скорости газа слой расширяется, интенсивность перемешивания частиц возрастает, но перепад давления остается постоянным.

При второй критической скорости v_B , или скорости уноса (витания), гидродинамическое равновесие нарушается. Эта скорость является верхним пределом существования псевдоожигенного слоя.

При $v > v_B$ частицы уносятся из слоя, в результате этого снижается их масса и уменьшается энергия, необходимая для поддержания твердой фазы во взвешенном состоянии, наступает явление пневмотранспорта.

Псевдоожигение слоя может быть однородным и неоднородным. Для неоднородного псевдоожигенного слоя характерно наличие в слое газовых пузырей. При небольших числах псевдоожигения 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 псевдоожижении особенно влажных, мелких и слипающихся частиц может также наблюдаться каналообразование, при котором 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.

Аппараты для псевдоожижения

В настоящее время разработаны многочисленные конструкции аппаратов с псевдоожиженным слоем, учитывающие технологические условия протекания процессов, требования к качеству получаемых продуктов, специфические особенности взаимодействующих веществ:

- цилиндрический противоточный аппарат непрерывного действия;*
- вертикальные цилиндрические силосы;*
- конические аппараты;*
- аппараты с перемешивающими устройствами.*

15. Перемешивание: жидких сред, сыпучих материалов, аппараты.

Ответ:

Перемешивание: жидких сред и сыпучих материалов – относятся к гидромеханическим процессам.

16. Классификации мембран, характеристика, состав, структура мембран, особенности полимерных мембран.

Ответ:

Перемешивание широко применяется в пищевой промышленности для образования растворов, эмульсий и суспензий, однородных смесей сыпучих материалов и других сплошных сред, а также для интенсификации процессов тепло- и массообмена.

Перемешивание заключается в измельчении элементов жидких, твердых или сыпучих сред и их равномерном перераспределении в пространстве с целью выравнивания состава смеси во все более и более малых объемах.

Для перемешивания используют смесители различных конструкций. Качество перемешивания характеризуется степенью (равномерностью) смешивания фаз.

Для перемешивания жидких сред используют несколько способов:

- пневматический,*



- циркуляционный,
- статический,

механический с помощью мешалок.

Пневматическое перемешивание осуществляют с помощью сжатого газа (в большинстве случаев воздуха), пропускаемого через слой перемешиваемой жидкости: через барботер (ряд перфорированных труб, расположенных у дна смесителя по окружности или спирали).

В ряде случаев перемешивание осуществляется с помощью эжекторов. Интенсивность перемешивания определяется количеством газа, пропускаемого в единицу времени через единицу свободной поверхности жидкости в смесителе.

Пневматическое перемешивание имеет ограниченное применение, когда допускается взаимодействие перемешиваемой жидкости с газом.

Циркуляционное перемешивание осуществляют с помощью насоса, перекачивающего жидкость по замкнутой системе смеситель – насос – смеситель.

Интенсивность циркуляционного перемешивания зависит от кратности циркуляции, т. е. отношения подачи циркуляционного насоса в единицу времени к объему жидкости в аппарате. В ряде случаев вместо насосов могут применяться паровые эжекторы.

Статическое смешивание жидкостей невысокой вязкости, а также газа с жидкостью осуществляется в статических смесителях за счет кинетической энергии жидкостей или газов.

Аппараты для «жидкого» перемешивания

Статические смесители используют также при получении эмульсий. Вихревой эмульсор обеспечивает высокую эффективность эмульгирования при давлении 0,3...0,36 МПа, прост в изготовлении и эксплуатации.

Принцип его действия заключается в использовании эффекта центробежной форсунки при каскадном истечении жидкости.

Получаемая эмульсия с размером частиц до 3 мкм не расслаивается в течение 24 ч.

Механическое перемешивание используют для интенсификации гидромеханических, тепло- и массообменных, биохимических процессов в системах жидкость – жидкость, газ – жидкость и газ – жидкость – твердое тело. Осуществляют его с помощью различных перемешивающих устройств – мешалок.

Мешалка представляет собой комбинацию лопастей, насаженных на вращающийся вал.

Классификация аппаратов для «сухого» перемешивания

Все перемешивающие устройства, можно разделить на две группы: в первую группу входят:

- лопастные,
- турбинные,
- пропеллерные,

во вторую – специальные:



винтовые, шнековые, ленточные, рамные, ножевые, другие, служащие для перемешивания пластичных и сыпучих масс.

По частоте вращения рабочего органа перемешивающие устройства делятся на:

- *тихоходные, быстроходные.*

По принципу действия все смесители могут быть разделены на:

- *смесители непрерывного действия*
- *смесители периодического действия.*

По скоростным характеристикам смесители делятся на:

- *скоростные*
- *тихоходные.*

Скоростные смесители бывают:

- *одноступенчатыми,*
- *двухступенчатыми.*

Смесители периодического действия можно разделить на:

- *барабанные,*
- *ленточные,*
- *бегунковые,*
- *центробежные,*
- *с вращающимся ротором,*
- *червячно-лопастные,*
- *плунжерные,*
- *пневмосмесители,*
- *смесители с псевдоожиженным слоем;*

Смесители непрерывного действия можно разделить на:

- *на барабанные,*
- *червячно-лопастные,*
- *роторные и др.*

17. Мембранные разделительные процессы: классификация, применение, фильтрация с задержкой потока и с отсечением потока.

Ответ:

Фильтрация с задержкой потока и с отсечением потока – относятся к гидромеханическим процессам.

Характеристика мембран

Мембраны должны обладать следующими свойствами: высокой разделяющей способностью (селективностью); высокой удельной производительностью (проницаемостью); постоянством своих характеристик в процессе эксплуатации; химической стойкостью в разделяющей среде; механической прочностью; невысокой стоимостью.



В процессе обратного осмоса и ультрафильтрации накопление растворенного вещества у поверхности мембраны (вследствие концентрационной поляризации) недопустимо, так как при этом резко снижаются селективность и проницаемость мембраны, сокращается срок ее службы.

Мембрана - открытая неравновесная система, на границах которой поддерживаются различные составы разделяемой смеси под действием извне сил различной природы. Это материал, который создает избирательный барьер между двумя растворами и остается непроницаемым для определенных частиц, молекул или веществ и в то же время не создает помех основному потоку. Некоторым компонентам мембрана позволяет проникнуть с потоком, но другие не проникают и концентрируются в приграничной зоне.

Мембраны могут быть выполнены в виде плоских листов, труб, капилляров и полых волокон, встраиваются в мембранные системы.

Классификации мембран

Мембраны могут иметь однородную или неоднородную структуру. Выделяют 3 категории мембран по диаметру пор: микропористые ($d < 2\text{ нм}$), мезопористые ($2\text{ нм} < d < 50\text{ нм}$), макропористые ($d > 50\text{ нм}$).

По заряду мембраны бывают нейтральными или заряженными, Перенос частиц через мембраны м. б. активным или пассивным. Пассивный перенос может быть инициирован:

- давлением,*
- разницей концентрации,*
- химически обусловленным градиентом мембранным процессом,*
- электрически обусловленным градиентом мембранным процессом. По структуре и функциям выделяют 3 группы мембран: неорганические, полимерные, биологические.*

Синтетические мембраны производят из:

- органических и неорганических материалов, включая твердые (металл и керамика),*
- однородных пленок (полимерных),*
- смешанных твердых (полимерных смесей, стекла с примесями),*
- жидких материалов.*

Мембраны имеют различную геометрию и соответствующую потоку конфигурацию.

Способы применения мембран

Способ применения зависит от типа мембраны и ее характеристик, которые лежат в основе разделения:

- по размеру,*
- по химическому родству,*
- по электростатике.*

С середины 70-х годов XX века процессы мембранной сепарации играют важную роль в промышленной сепарации. Сейчас наиболее известные мембранные процессы включают:

- обратный осмос, в частности при очистке воды,*



- обезвоживание природного газа,
- удаление частиц с помощью микрофльтрации и ультрафльтрации,
- удаление бактерий,
- диализ,
- гемодиализ,
- разделение компонентов топливных элементов.

Геометрия с задержкой потока (фльтрация с задержкой потока)

В фильтрации с задержкой частиц движение жидкости происходит перпендикулярно к поверхности мембраны.

Задерживающая фильтрация в основном серийный процесс, где фильтруемый состав загружается (медленно поступает) в мембранное устройство, которое затем позволяет выделить некоторые составляющие при наличии движущей силы. Преимущества задерживающих мембран:

- простота изготовления,
- простота реализации,
- низкая стоимость процесса сепарации: дешевле, чем фильтрация с отсечением потока.

Главные недостатки этих мембран:

- сильное засорение,
- поляризация концентрации.

Засорение обычно происходит быстрее при большей силе воздействия. Засорение мембраны и удерживание частиц в поступающей жидкости, в частности, приводит к возникновению градиента концентрации и обратному движению частиц (поляризации концентрации).

Геометрия с разделяемым потоком (фльтрация с отсечением потока)

В фильтрации с отсечением потока питающий поток направлен по касательной к поверхности мембраны, задержанный поток удаляется с другой стороны, тогда как проникающий поток проникает на внешнюю сторону.

Достоинство устройств с касательным потоком:

- мембраны относительно слабо засоряются из-за эффекта смывания и высоких сдвигающих сил проходящего потока.

Недостатки:

- высокая стоимость,
- сложны в разработке.

18.Первапорация, диализ, микрофльтрация.

Ответ:

Первапорация, диализ, микрофльтрация – относятся к гидромеханическим процессам.



Первапорация - технология разделения преимущественно жидких смесей различных веществ, при которой поток жидкости, содержащий два или более смешивающихся компонента, помещен в контакт с одной стороной непористой полимерной мембраны или молекулярно-пористой неорганической мембраны (типа цеолитной мембраны), в то время как с другой стороны используется вакуумная или газовая продувка.

Компоненты жидкого потока абсорбируются в/на мембране, проникают через мембрану, и испаряются в паровую фазу (откуда и образуется слово 'pervaporate'). Образующийся пар, названный 'пермеатом', конденсируется. Различные виды питающих смесей с различным сродством к мембране и различными скоростями диффузии через мембрану позволяют обогатить в пермеате компоненты, находящиеся в малой концентрации в питающей среде.

Таким образом, состав растворенного вещества может сильно отличаться от того, что находится в виде пара, образующегося после установления в системе равновесия жидкость-пар. Коэффициенты обогащения, степень пермеирования, концентрации питающей смеси находятся в диапазоне от единиц до нескольких тысяч, в зависимости от состава, мембраны и условий процесса.

Первапорация отличается относительно низким удельным энергопотреблением по сравнению с мембранными технологиями, использующими пористые мембраны. Разделение идет на молекулярном уровне, что повышает избирательность фильтрации.

Диализ - освобождение коллоидных растворов и растворов высокомолекулярных веществ от растворенных в них низкомолекулярных соединений (примесей электролитов и низкомолекулярных неэлектролитов) при помощи полупроницаемой мембраны.

При диализе молекулы растворенного низкомолекулярного вещества проходят через мембрану, а неспособные диализировать (проходить через мембрану) коллоидные частицы остаются за ней. Материал, прошедший через мембрану, называется диализат. Простейший диализатор представляет собой мешочек из коллодия (полупроницаемого материала), в котором находится диализируемая жидкость. Мешочек погружают в растворитель (например, в воду). Постепенно концентрации диализирующего вещества в диализируемой жидкости и в растворителе становятся равными. Меняя растворитель, можно добиться практически полной очистки от нежелательных примесей. Скорость диализа обычно крайне низка (недели).

Ускоряют процесс диализа увеличивая площадь мембраны и температуру, непрерывно меняя растворитель. Процесс диализа основан на процессах осмоса и диффузии, что объясняет способы его ускорения.

Диализ применяют в промышленности для очистки искусственных волокон, при изготовлении лекарственных веществ.

Виды диализа, используемые в медицине

Гемодиализ (от гемо... и греч. dialysis - разложение, отделение) - метод внепочечного очищения крови при острой и хронической почечной недостаточности.



Во время гемодиализа происходит удаление из организма токсических продуктов обмена веществ, нормализация нарушений водного и электролитного балансов.

Наиболее эффективным методом гемодиализа является применение аппарата искусственная почка.

Гемодиализ как правило сопровождается переливанием донорской крови. Перитонеальный диализ - обмыванием брюшины солевым раствором.

Кишечный диализ - промывание слизистой оболочки кишечника умеренногипертоническими растворами.

Микрофильтрация - процесс разделения жидких или газовых смесей отвлеченных частиц диаметром 100-0,1 мкм и выше под давлением.

Фильтрация производится на мелкозернистом материале, песок, кварц и т. д., для грубой фильтрации больших частиц.

Процесс проводят в тупиковом режиме с регенерацией обратным током жидкости/газа.

19. Обратный осмос и ультрафильтрация, аппараты для баромембранных процессов, принципы расчета аппаратов проточного типа.

Ответ:

Обратный осмос и ультрафильтрация – относятся к гидромеханическим процессам.

Обратный осмос – это способ разделения растворов путем их фильтрования под давлением через полупроницаемые мембраны, пропускающие растворитель и задерживающие молекулы или ионы растворенных веществ.

В основе метода разделения растворов обратным осмосом лежит явление самопроизвольного перехода растворителя через полупроницаемую мембрану в раствор. Если давление над раствором ниже осмотического, то растворитель будет переходить в раствор до достижения осмотического равновесия в системе.

Ультрафильтрация – это процесс разделения, фракционирования и концентрирования растворов с помощью полупроницаемых мембран. Движущая сила ультрафильтрации – разность рабочего и атмосферного давлений. Обычно ультрафильтрацию проводят при невысоких давлениях, равных 0,1...1,0 МПа.

Ультрафильтрацию применяют при разделении систем, в которых молекулярная масса растворенных в растворителе компонентов значительно превышает молекулярную массу растворителя (500 Да и выше).

Разделение методами обратного осмоса и ультрафильтрации принципиально отличается от обычного фильтрования.

При обратном осмосе и ультрафильтрации образуются два раствора: концентрированный и разбавленный, в то время как при фильтровании осадок откладывается на фильтровальной перегородке.



Недостатком аппаратов для обратного осмоса является высокое рабочее давление, что приводит к необходимости использования специальных уплотнений трубопроводов и арматуры, рассчитанных на высокое давление.

Аппараты для баромембранных процессов (для обратного осмоса и ультрафильтрации) бывают:

- периодического действия,
- непрерывного действия.

Аппараты периодического действия применяют, как правило, только в лабораторной практике.

В промышленности работают проточные аппараты непрерывного действия. Мембранные аппараты имеют большую удельную площадь поверхности разделения, просты в сборке и монтаже, надежны в работе.

Перепад давления в аппаратах небольшой.

По способу расположения мембран аппараты делятся на:

- аппараты типа «филтрпресс» с плоскокамерными фильтрующими элементами,
- аппараты с цилиндрическими и рулонными элементами,
- аппараты с мембранами в виде полых волокон. Расчет аппаратов проточного типа

Расчет заключается в определении площади поверхности фильтрования при заданной производительности.

Материальный баланс процесса по растворенному компоненту: $LHxH = Lixi + \Phi u_i$,
по всему веществу:

$$LH = \Phi + Li,$$

где:

LH , Li – массовый расход жидкости, соответственно поступающей в аппарат и в произвольном поперечном сечении аппарата, кг/ч;

xH , x_i – массовая доля растворенного вещества соответственно в поступающей жидкости и в произвольном сечении аппарата, доли единицы;

Φ – массовый расход фильтрата, кг/ч;

u_i – массовая доля растворенного вещества в фильтрате до рассматриваемого сечения, доли единицы.

20.Сверхкритические флюидные технологии в биотехнологическом производстве: физико-химические особенности, варианты реализации сверх-критических флюидных технологий, сферы применения.

Ответ:

Сверхкритические флюидные технологии – относятся к гидромеханическим процессам.



В настоящее время технологические процессы, протекающие в сверхкритических флюидах, привлекают все большее внимание выдвигаясь на приоритетные позиции в биотехнологической, химической и фармацевтической промышленности.

Сверхкритические флюиды (СКФ) – специфическое состояние вещества, уникальным образом объединяющее свойства жидкости и газа.

Применение СКФ позволяет осуществлять процессы, которые ранее были вообще невозможны в промышленных масштабах.

В сверхкритическом состоянии, в области выше критических температуры и давления, не существует границы раздела фаз между жидкостью и газом, а есть единая текучая, относительно плотная, легко сжимаемая среда, не имеющая постоянного объема.

В такой форме вещество, с одной стороны, все еще обладает существенной растворяющей способностью, подобно жидкостям, а с другой – обладает транспортными характеристиками, больше характерными для газов, – низкой вязкостью, легко варьируемой плотностью, высокими коэффициентами диффузии.

Физико-химические свойства СКФ

Растворяющей способностью сверхкритического флюида легко управлять, изменяя давление или температуру, поэтому при его использовании в качестве растворителя появляется нехарактерная для жидкостей возможность тонко настраивать растворяющую способность растворителя под конкретную задачу.

При этом физико-химические свойства СКФ изменяются от жидкоподобных до газоподобных не скачкообразно, а непрерывно плавно.

Благодаря отсутствию межфазного натяжения сверхкритические флюиды легко проникают в поры малого диаметра. Соотношение плотности, вязкости и диффузии для разных состояний вещества приведены в таблице.

Свойства сверхкритических флюидов

- управляемая растворяющая способность;*
- управляемая, относительно высокая плотность;*
- низкая вязкость и, как следствие, низкое вязкостное трение;*
- высокий коэффициент диффузии веществ в них;*
- отсутствие поверхностного, межфазного натяжения;*
- высокая проникающая способность;*
- легкая сжимаемость. Сверхкритическая флюидная экстракция*

В качестве растворителей в сверхкритическом состоянии используется, например, этанол, диоксид углерода, закись азота и этилен.

Этанол в состоянии СКФ приобретает способность растворять некоторые неорганические соли (CoCl_2 , KBr , KI), а диоксид углерода, закись азота, этилен и некоторые другие - растворяют многие органические вещества.

Сверхкритическая флюидная экстракция – проточная экстракция с использованием сверхкритического флюида в качестве растворителя. СКФ нашла свое применение для



извлечения неполярных субстанций (таких как жирные и эфирные масла, стероиды, воск и т.д.) и лекарственных средств из природных субстратов, низкомолекулярных соединений из полимерных и композитных материалов, а также в судебно-медицинской экспертизе, при геологической разведке перспективных месторождений полезных ископаемых и при пробоподготовке в химическом анализе.

Сверхкритическая флюидная микронизация Микронизация полезна:

- при получении микропорошков липофильных материалов, производстве - лекарственных субстанций для препаратов пролонгированного действия и контролируемого релиза (высвобождения),
- для щадящего измельчения фармсубстанций,
- повышения биодоступности препаратов,
- для поиска новых полиморфных форм кристаллических фармацевтических субстанций.

Применение сверхкритических (СК) технологий

Стандартные методы измельчения частиц, такие как помол, распыление, осаждение из раствора – имеют ряд существенных недостатков и не позволяют получать однородные по размерам и чистые микрочастицы.

При осаждении микрочастиц из растворов полученный продукт обычно требуется полностью очистить от остаточных количеств растворителя.

В случае токсичных или пожароопасных органических растворителей остро встает вопрос об их утилизации или регенерации.

Сверхкритические (СК) технологии позволяют решить проблему получения микрочастиц с узким распределением по размерам из веществ, не устойчивых при нагревании.

Микронизация является одним из самых востребованных и развивающихся направлений в таких отраслях, как фармацевтическая, пищевая, косметическая, взрывчатых веществ и ряде других.

Технология RESS (rapid extension of a supercritical solution)

Применяется для веществ, растворимых в СК-СО₂ – раствор впрыскивается через сопло в сборник с атмосферным давлением, углекислый газ практически мгновенно испаряется, а в сборнике осаждается порошок.

В таких условиях скорость зародышеобразования намного выше скорости роста частиц, которые имеют малый размер.

За счет вариации давления, температуры, концентрации веществ в растворе, формы и диаметра распылительного сопла, некоторых других параметров можно получать частицы различной морфологии и различного распределения по размерам.

По сути метод близок к распылительной сушке с той разницей, что испарение растворителя происходит не за счет нагрева, а в результате сброса давления.



Соответственно, термолабильные материалы не деградируют при использовании данного метода.

Кроме того, за счет большой скорости методом RESS можно получать долгоживущие термодинамически нестабильные материалы, так как быстрая фиксация в ходе кристаллизации не позволяет веществу перейти в более стойкую модификацию.

Технология SAS (supercritical anti-solvent)

В случае если вещества плохо растворимы в СК CO₂ применяется технология SAS (supercritical anti-solvent) - водный или органический раствор вещества впрыскивается в камеру высокого давления со сверхкритическим CO₂. При этом происходит осаждение не растворимых в СК CO₂ частиц вещества на дно сосуда, а CO₂ вместе с растворенными в нем веществами удаляется.

Использование СКФ технологий позволяет реализовать новые подходы для создания макросфер, микрокапсул и липосом.

21. Основное уравнение теплопередачи, коэффициент теплопередачи и площадь поверхности теплообмена, способы передачи теплоты. Основные законы теплообмена (законы Фурье и Ньютона), закон Стефана – Больцмана, закон Кирхгофа, закон Ламберта. Движущая сила теплообменных процессов.

Ответ:

Основное уравнение теплопередачи

Связь между количеством передаваемой теплоты и площадью поверхности теплообмена определяется основным уравнением теплопередачи: $dQ = KF \Delta t_{CP} d\tau$, которое для установившегося процесса имеет вид:

$$Q = KF \Delta t_{CP} \tau,$$

где:

dQ – количество переданной теплоты;

K – коэффициент теплопередачи между средами; F – площадь поверхности теплообмена;

Δt_{CP} – усредненная разность температур между средами – движущая сила процесса;

$d\tau$ – продолжительность процесса.

Коэффициент теплопередачи показывает, какое количество теплоты (в кДж) передается от одного теплоносителя к другому через разделяющую стенку площадью 1 м² в течение 1 ч при разности температур между теплоносителями 1 К.

Площадь поверхности теплообмена (теплопередачи) аппарата определяется по формуле:

$$F = Q / K \Delta t_{CP}$$

Способы передачи теплоты

- теплопроводность,
- тепловое излучение (радиация)
- конвекция

Основные законы теплообмена



Теплопроводностью называется процесс переноса тепловой энергии от более нагретых участков тела к менее нагретым в результате теплового движения и взаимодействия микрочастиц.

Основной закон теплопроводности, установленный Фурье, гласит, что количество теплоты, переданное теплопроводностью (коэффициент теплопроводности среды), пропорционально градиенту температуры, времени и площади сечения, перпендикулярного направлению теплового потока.

Основной закон теплоотдачи – закон Ньютона гласит, что количество теплоты, переданное от поверхности теплообмена к потоку жидкости (газа) или от потока к поверхности теплообмена, прямо пропорционально площади поверхности теплообмена, разности температур поверхности и ядра потока (или наоборот) и продолжительности процесса.

Конвективный теплообмен (теплоотдача)

Интенсивность теплоотдачи характеризуется коэффициентом теплоотдачи, равным отношению плотности теплового потока на поверхности раздела к температурному напору между поверхностью теплообмена и средой (теплоносителем).

Тепловое излучение (радиация)

Из всей лучистой энергии, которая попадает на поверхность тела, часть ее поглощается телом, часть отражается, а часть проходит через тело. Закономерности теплового излучения описываются законами:

Стефана – Больцмана, Кирхгофа, Ламберта.

Закон Стефана – Больцмана устанавливает зависимость между лучеиспускательной способностью тела E , количеством энергии Q , излученной телом в течение t ч, площадью поверхности тела F :

$$E = Q / F.$$

Энергия излучения зависит от длины волн λ и температуры T .

Отношение лучеиспускательной способности тел E и их поглощательной способности A равно лучеиспускательной способности абсолютно черного тела при той же температуре.

Для всякого тела излучательная и поглощательная способности зависят от температуры и длины волны. Зависимость между ними устанавливается законом Кирхгофа:

$$E = E_s \cdot A \text{ или } E / A = E_s = E_s / A_s = C_s \cdot (T/100)^4$$

Из закона Кирхгофа следует, что если тело обладает малой поглощательной способностью, то оно одновременно обладает и малой лучеиспускательной способностью (полированные металлы). Абсолютно черное тело, обладающее максимальной поглощательной способностью, имеет и наибольшую излучательную способность.

Закон Ламберта:



Количество лучистой энергии, излучаемое элементом поверхности $dF1$ в направлении элемента $dF2$, пропорционально произведению количества энергии, излучаемой по нормали dQ_n , на величину пространственного угла $d\omega$ и $\cos \varphi$, составленного направлением излучения с нормалью:

$$dQ_n = (1/\pi) E d\omega \cos \varphi dF1$$

где $d\omega$ – телесный угол, под которым виден элемент $dF2$ из элемента $dF1$; φ – угол, образованный прямой, соединяющий элементы $dF1$ и $dF2$, и нормалью к элементу $dF1$.

Следовательно, наибольшее количество лучистой

энергии излучается в перпендикулярном направлении к поверхности излучения, т. е. при ($\varphi = 0$). С увеличением φ количество лучистой энергии уменьшается и при $\varphi = 90^\circ$ равно нулю. Закон Ламберта полностью справедлив для абсолютно черного тела и для тел, обладающих диффузным излучением при $\varphi = 0 - 60^\circ$.

Движущая сила теплообменных процессов – разность температур теплоносителей. Под действием этой разности теплота передается от горячего теплоносителя к холодному.

Движущая сила при теплопередаче между двумя теплоносителями не сохраняет своего постоянного значения, а изменяется вдоль теплообменной поверхности.

Например, при прямотоке при входе теплоносителей в теплообменник локальная движущая сила максимальна, а на выходе из аппарата минимальна.

Такая же картина наблюдается и при противотоке.

При небольших изменениях температур теплоносителей, когда $\Delta t_{\min} / \Delta t_{\max} \geq 0,5$, среднюю разность температур вычисляют как среднеарифметическую (идеальный случай).

22. Нагревание и охлаждение, выпаривание: варианты реализации в технологическом процессе. Теплообменная аппаратура, классификация теплообменников. Интенсификация тепловых процессов.

Ответ:

Нагреванием называется процесс повышения температуры материалов путем подвода к ним теплоты с помощью теплообменников различных конструкций.

Нагревание водой используют для повышения температуры и пастеризации пищевых продуктов при температурах ниже 100°C .

Для нагревания до температуры выше 100°C применяют перегретую воду, находящуюся под избыточным давлением.

При нагревании водой или другими жидкостями, например маслом, органическими теплоносителями, часто применяют циркуляционный способ обогрева.

По этому способу горячая вода (либо другой теплоноситель) циркулирует между нагревателем и теплообменником, в котором она отдает теплоту. Другим способом



нагревания горячими жидкостями является обогрев с помощью обогревательных бань, представляющих собой аппараты с рубашками.

Расход воды или другого теплоносителя на нагревание определяют из теплового баланса.

При нагревании водяным насыщенным паром применяют два способа: нагревание «глухим» насыщенным паром и «острым» паром.

При нагревании «глухим» паром теплота от конденсирующегося насыщенного водяного пара к нагреваемому теплоносителю передается через разделяющую их стенку.

Массовый расход пара (в кг/ч) при нагревании жидкости определяют из теплового баланса.

При нагревании «острым» паром водяной пар вводится непосредственно в нагреваемую жидкость. Пар конденсируется и отдает теплоту нагреваемой жидкости, а конденсат смешивается с жидкостью.

Расход «острого» пара определяют из теплового баланса.

Нагревание «острым» паром применяют в тех случаях, когда допустимо разбавление нагреваемой среды водой. Этот способ часто используют для нагревания воды и водных растворов

Нагревание топочными газами, образующимися при сжигании твердого, жидкого или газообразного топлива в специальных печах, используется, например, для обогрева сушилок.

Недостатками обогрева топочными газами являются:

низкий коэффициент теплоотдачи, значительные температурные перепады, неравномерный нагрев,

сложность регулирования температуры, окисление стенок аппаратов, наличие вредных продуктов сгорания.

Это делает недопустимым применение топочных газов для нагревания пищевых продуктов при непосредственном соприкосновении с ними.

Нагревание электрическим током осуществляется в электрических печах сопротивления прямого и косвенного действия.

В печах прямого действия тело нагревается при прохождении через него электрического тока.

Нагревание токами высокой частоты основано на том, что при воздействии на диэлектрик переменного электрического тока молекулы диэлектрика приходят в колебательное движение, при этом часть энергии затрачивается на преодоление трения между молекулами диэлектрика и превращается в теплоту, нагревая тело.

В печах косвенного действия теплота выделяется при прохождении электрического тока по нагревательным элементам. Выделяющаяся при этом теплота передается материалу тепловым излучением, теплопроводностью и конвекцией.

Количество теплоты, которое необходимо подвести в процессе нагревания электрическим током, определяется из теплового баланса



Испарение – процесс превращения жидкости в пар путем подвода к ней теплоты. Процесс испарения является обратным процессу конденсации (переход из парообразного состояния в жидкое). Процесс испарения зависит от интенсивности теплового движения молекул: чем быстрее движутся молекулы, тем быстрее происходит испарение. Кроме того, немаловажными факторами, влияющими на процесс испарения, являются скорость внешней (по отношению к веществу) диффузии, а также свойств самого вещества. Проще говоря, при ветре испарение происходит гораздо быстрее. Что же касается свойств вещества, то, к примеру, спирт испаряется гораздо быстрее воды.

Испарение в пищевой технологии используют для охлаждения и опреснения воды, концентрирования растворов, например сахарных, и для разделения жидких смесей.

Испарение происходит в испарителях.

Аппараты, применяемые для опреснения воды, называют опреснителями, для повышения концентрации растворов – выпарными аппаратами.

Кипение - процесс парообразования внутри жидкости (переход вещества из жидкого в газообразное состояние). Поскольку при кипении изменяется удельный объем вещества, то кипение — это фазовый переход первого рода. Обычно кипение более интенсивно, чем испарение.

Температура кипения, точка кипения — температура, при которой происходит кипение жидкости, находящейся под постоянным давлением. Температура кипения соответствует температуре насыщенного пара над плоской поверхностью кипящей жидкости, так как сама жидкость всегда несколько перегрета относительно температуры кипения. С ростом давления температура кипения увеличивается. При кипении процесс переноса тепла складывается из отдачи тепла жидкости стенкой и передачи тепла внутренней поверхности газового пузыря в виде теплоты испарения. При этом преодолевается термическое сопротивление тонкого пограничного слоя на границе «пузырек газа – жидкость». При медленном кипении в жидкости (а точнее, как правило на стенках или на дне сосуда) появляются пузырьки, наполненные паром.

Образование пузырьков пара зависит от количества подводимой теплоты, от шероховатости и смачиваемости поверхности. В процессе образования газовых пузырьков интенсивность процесса возрастает до некоторого предела, равного разности температур между стенкой аппарата и жидкостью, т.е. растет количество тепла, передаваемого жидкости с единицы поверхности в единицу времени. Начинается перемешивание среды, что приводит к росту коэффициента теплоотдачи. Этот процесс и область его существования называется ядерным кипением (пузырчатым). За счет интенсивного испарения жидкости внутри пузырьков они растут, всплывают, и пар высвобождается в паровую фазу над жидкостью. При этом сама жидкость находится в слегка перегретом состоянии, т. е. температура в толще жидкости превышает номинальную температуру кипения. В обычных условиях эта разница невелика (порядка



одного градуса), но факт перегретости можно легко заметить, бросив что-либо в такую воду и наблюдая ее резкое вскипание. В лабораторных условиях тщательно очищенные жидкости можно перегреть на десятки градусов.

Возможность перегрева жидкости объясняется тем, что для создания первичного пузырька минимального размера, который уже дальше может расти сам по себе, требуется затратить некоторую энергию (определяемую поверхностным натяжением жидкости).

Пока это не достигнуто, мельчайшие пузырьки будут возникать и снова схлопываться под действием сил поверхностного натяжения, и кипения не будет.

При дальнейшем увеличении температуры интенсивность теплового потока возрастает настолько, что пузырьки превращаются в сплошную прослойку газа между стенкой и жидкостью, т.е. если температура дна сосуда значительно превышает температуру кипения жидкости, то скорость образования пузырей на дне становится столь большой, что они объединяются вместе, образуя сплошную паровую прослойку между дном сосуда и непосредственно самой жидкостью.

В этом режиме плёночного кипения тепловой поток от нагревателя к жидкости резко падает (паровая плёнка проводит тепло хуже, чем конвекция в жидкости), т.е. термическое сопротивление резко возрастает, а коэффициент теплоотдачи резко падает.

Это ведет к ухудшению процесса теплоотдачи. и в результате скорость выкипания уменьшается.

Режим плёночного кипения можно наблюдать на примере капли воды на раскалённой плите.

На процесс образования пузырьков можно влиять с помощью давления, звуковых волн, ионизации.

В частности, именно на принципе вскипания микрообъемов жидкости от ионизации при прохождении заряженных частиц работает пузырьковая камера.

Интенсивность образования паровых пузырьков зависит от плотности теплового потока.

Конденсация – переход вещества из паро- или газообразного состояния в жидкое путем отвода от него теплоты. Конденсация происходит в конденсаторах.

Конденсацию можно проводить при отводе теплоты от конденсируемых веществ с помощью охлаждающего теплоносителя, отделенного стенкой - поверхностная конденсация. Возможна конденсация при непосредственном смешивании конденсируемых паров с охлаждающим теплоносителем – водой (конденсация смешения). Конденсация при смешении теплоносителей осуществляется в мокрых и сухих конденсаторах.

В мокрых конденсаторах охлаждающую воду, конденсат и неконденсирующиеся газы, например воздух, выводят из нижней части конденсатора с помощью мокровоздушного насоса.



В сухих конденсаторах охлаждающая вода вместе с конденсатом выводится из нижней части, а воздух отсасывается вакуум-насосом из верхней части конденсатора.

Мокрые и сухие конденсаторы делятся на прямоточные и противоточные. Охлаждение – процесс понижения температуры материалов путем отвода от них теплоты.

Охлаждение до обыкновенных температур проводят: с помощью воды и воздуха. Охлаждение водой осуществляется в теплообменниках, в которых теплоносители разделены стенкой либо обмениваются теплотой при смешивании. Например, газы охлаждают разбрызгиванием в них воды.

Массовый расход воды на охлаждение W (в кг/ч) определяется из теплового баланса.

Охлаждение льдом применяют для охлаждения ряда продуктов, например мороженого, до температуры, близкой к нулю.

Охлаждение воздухом проводят естественным и искусственным способами.

При естественном охлаждении горячий продукт охлаждается за счет потерь теплоты в окружающее пространство.

Искусственное охлаждение воздухом применяют для охлаждения воды в градирнях, в которых охлаждаемая вода стекает сверху вниз навстречу подаваемому снизу воздуху.

Замораживание – искусственное охлаждение до температуры ниже температуры окружающей среды (4°C до минус 40°C).

Для охлаждения, замораживания и хранения пищевых продуктов при температурах ниже температуры окружающей используют холодильники и низкотемпературные хладагенты – холодильные рассолы, фреоны, аммиак, диоксид серы, жидкий азот.

Согласно второму закону термодинамики охлаждение до температур ниже температуры окружающей среды, которое связано с переносом теплоты с низшего температурного уровня на высший, возможно только при затрате энергии.

Замораживание применяется в следующих случаях:

- замораживание объектов с целью обеспечения продолжительного хранения;*
- замораживание смесей с целью получения специфических пищевых продуктов (мороженого, замороженных кремов и др.)*
- замораживание полупродуктов как подготовительный технологической операции при их сублимационной сушке (лиофилизация);*
- замораживание жидких продуктов с целью их концентрации, т.е. осуществление процесса криоконцентрации фруктовых и овощных соков, виноградного и пивного сусла, уксуса, вина, кофе, получения питьевой воды из морской воды и др.;*
- замораживание воды для получения льда.*

Процесс может происходить в воздушной среде или в жидких хладоносителях и криогенных жидкостях.

Замораживание в псевдоожигенном слое является одним из перспективных промышленных методов замораживания пищевых продуктов россыпью. При



замораживании указанным методом продукты, подверженные холодильной обработке, образуют «кипящий» слой при определённой скорости и давлении восходящего воздушного потока. Высокая эффективность аппаратов, основанных на таком принципе работы, обусловлена, прежде всего коэффициентом теплоотдачи материала – от 75 до 186 Вт/(м²К). В аппаратах, работающих полностью на принципе псевдооживлений (флюидизации), воздушный поток пронизывает целиком слой продукта, а также играет роль воздушной подушки для передвижения продукта по камере. Основные преимущества флюидального замораживания: высокая интенсивность, непрерывность технологического процесса и высокое качество замороженного продукта.

Выпаривание – процесс концентрирования растворов твердых нелетучих или малолетучих веществ путем испарения летучего растворителя и отвода образовавшихся паров.

В промышленности выпаривание обычно проводят при кипении раствора в выпарных аппаратах.

Процесс выпаривания может проводиться непрерывно и периодически.

Аппараты периодического действия используют в основном в производствах малого масштаба.

В крупнотоннажных производствах применяют непрерывно действующие выпарные установки.

Выпаривание осуществляют как под вакуумом, так и при атмосферном и избыточном давлениях.

При выпаривании под вакуумом в аппарате создается вакуум путем конденсации вторичного (сокового) пара в специальном конденсаторе и отсасывания из него неконденсирующихся газов с помощью вакуум-насоса. При выпаривании под атмосферным давлением образующийся вторичный пар сбрасывается в атмосферу.

При выпаривании под повышенным давлением вторичный пар может быть использован как нагревающий агент в подогревателях, для отопления теплиц и т.п.

Выпаривание под давлением связано с повышением температуры кипения раствора, поэтому применение данного способа в пищевой технологии ограничено свойствами растворов и температурой теплоносителя.

Температурная депрессия – это разность между температурами кипения раствора и растворителя.

Из теории растворов известно, что при одной и той же температуре давление паров над чистым растворителем больше, чем давление паров над раствором, и соответственно, при одном и том же давлении температура кипения чистого растворителя ниже температуры кипения раствора Способы выпаривания

Однократное выпаривание проводят в малотоннажных производствах; можно проводить непрерывно или периодически. Образующийся при выпаривании вторичный пар в этих установках не используется, а конденсируется в конденсаторе.



Многократное выпаривание проводят в ряде последовательно установленных выпарных аппаратов. Такие установки называют многокорпусными. С целью экономии греющего пара в выпарных установках многократного выпаривания в качестве греющего пара во всех корпусах, кроме первого, используется пар из предыдущего корпуса.

Многокорпусные выпарные установки делятся по взаимному направлению движения греющего пара и выпариваемого раствора на прямоточные, противоточные и комбинированные.

Выпаривание с применением теплового насоса основано на использовании вторичного пара в качестве греющего в том же выпарном аппарате. Для этого температура вторичного пара должна быть повышена до температуры греющего пара. Повышение температуры вторичного пара

достигается сжатием его в компрессоре или паровом инжекторе. В качестве компрессора обычно используется турбокомпрессор.

Устройство выпарных аппаратов

Наибольшее распространение в пищевых производствах получили трубные выпарные аппараты с естественной и принудительной циркуляцией при площади поверхности нагрева 9...1800 м².

В зависимости от расположения греющей камеры аппараты бывают с соосной или с вынесенной греющими камерами.

Кроме перечисленных аппаратов применяют различные конструкции пленочных выпарных аппаратов.

При выборе конструкции выпарного аппарата учитывают тепло – физические свойства раствора, склонность к кристаллизации, чувствительность к высоким температурам, полезную разность температур в каждом корпусе, площадь поверхности теплообмена и другие технологические особенности.

Выпарные аппараты изготавливают из углеродистой, коррозионно устойчивой двухслойной стали.

Выпарные аппараты с естественной циркуляцией применяются для выпаривания растворов невысокой вязкости, не склонных к кристаллизации. Эти аппараты бывают с соосной и вынесенной греющими камерами (следующий слайд).

Состоят из сепаратора, греющей камеры и циркуляционной трубы. Сепаратор представляет собой цилиндрическую емкость с эллиптической крышкой, присоединенную с помощью болтов к греющей камере. В сепараторе для отделения капелек жидкости от вторичного пара устанавливают отбойники различной конструкции. Греющая камера данных аппаратов выполнена в виде вертикального кожухотрубного теплообменника, в межтрубное пространство которого поступает греющий пар, а в греющих трубках кипит выпариваемый раствор. Нижние части сепаратора и греющей камеры соединены циркуляционной трубой. Естественная циркуляция возникает в замкнутой системе, состоящей из необогреваемой циркуляционной трубы и кипящих труб.



Выпарные аппараты с принудительной циркуляцией

Позволяют повысить интенсивность циркуляции раствора и коэффициент теплопередачи.

Циркуляция жидкости в данных аппаратах производится пропеллерным или центробежным насосом. Свежий раствор подается в нижнюю часть кипятильника, а упаренный раствор отводится из нижней части сепаратора. Уровень жидкости поддерживается несколько ниже верхнего обреза кипятильных труб. Поскольку вся циркуляционная система почти полностью заполнена жидкостью, работа насоса затрачивается лишь на преодоление гидравлических сопротивлений. Давление внизу кипятильных

труб больше, чем сверху, на величину давления столба жидкости в трубах плюс их гидравлическое сопротивление. Из-за этого на большей части высоты кипятильных труб жидкость не кипит, а подогревается. Закипание происходит только на небольшом участке верхней части труб.

Пленочные выпарные аппараты применяют при концентрировании растворов, чувствительных к высоким температурам. При необходимом времени пребывания в зоне высоких температур раствор не успевает перегреться и его качество не снижается.

Пленочные аппараты бывают с восходящей пленкой и соосной или вынесенной греющей камерой и падающей пленкой и соосной или вынесенной греющей камерой, состоят из греющей камеры и сепаратора.

В греющей камере расположены трубы длиной от 5 до 9 м, которые обогреваются греющим паром. Исходный раствор подается в трубы снизу, причем уровень жидкости в трубах поддерживается на уровне 20...25% высоты труб. В остальной части труб находится парожидкостная смесь. Раствор в виде пленки находится на поверхности труб, а пар движется по оси трубы с большой скоростью, увлекая за собой пленку жидкости. При движении пара и пленки жидкости за счет трения происходят турбулизация пленки и интенсивное обновление поверхности. За счет этих факторов достигаются высокие коэффициенты теплопередачи и большая поверхность теплообмена

Недостаток пленочных аппаратов – неустойчивость работы при колебаниях давления греющего пара. Среди пленочных аппаратов ведущее место занимают роторно-пленочные выпарные аппараты, которые применяют при концентрировании пищевых растворов, а также суспензий.

Теплообменная аппаратура

Аппараты, применяемые в пищевых производствах для проведения теплообменных процессов, называют теплообменниками.

Теплообменники характеризуются разнообразием конструкций, которое объясняется различным назначением аппаратов и условиями проведения процессов.



По принципу действия теплообменники делятся на:

- рекуперативные,*
- регенеративные*
- смешительные (градирни, скрубберы, конденсаторы смешения и т.д.). В рекуперативных теплообменниках теплоносители разделены стенкой, и теплота передается от одного теплоносителя к другому через разделяющую их стенку.*

В регенеративных теплообменниках одна и та же теплообменная поверхность омывается попеременно горячим и холодным теплоносителями.

При омывании горячим теплоносителем поверхность нагревается за счет его теплоты, при омывании поверхности холодным теплоносителем она охлаждается, отдавая теплоту.

Таким образом, теплообменная поверхность аккумулирует теплоту горячего теплоносителя, а затем отдает ее холодному теплоносителю.

В смешительных аппаратах передача теплоты происходит при непосредственном взаимодействии теплоносителей.

Классификация теплообменников

- по технологической схеме – на прямоточные, противоточные и с поперечным током теплоносителей;*
- по режиму работы – на теплообменники периодического и непрерывного действия;*
- по способу передачи теплоты – на теплообменники смешения, или контактные, в которых теплоносители перемешиваются (т. е. осуществляется их контакт), и поверхностные, в которых теплоносители разделены твердыми стенками;*
- по основному назначению – на подогреватели, испарители, холодильники, конденсаторы (конденсоры);*
- по сочетанию фазовых состояний рабочих сред – на жидкостно-жидкостные, парожидкостные и газожидкостные;*
- по конструктивным признакам: элементные, с рубашками, кожухотрубные, погружные трубчатые, оросительные и с плоскими поверхностями нагрева.*

Интенсификация тепловых процессов

Заключается в повышении эффективности работы аппаратов и снижении расхода ими тепловой энергии. Задачи интенсификации предусматривают экономию энергии путем оптимизации технологически процессов, а именно интенсификация теплообмена связана с коэффициентом теплоотдачи и термическим сопротивлением стенки.

Основными способами повышения коэффициента теплоотдачи являются:

- 1. Правильный выбор теплового аппарата.*
- 2. Обеспечение турбулентного режима движения теплообменных сред в аппарате (применяют турбулизирующие вставки, перемешивающие устройства).*



3. Замена свободной конвекции на принудительную.
4. Своевременный и полный отвод конденсата из паровых пространств, а также несконденсированных паров.
5. Оптимизация формы и размеров продукта, подвергаемых тепловой обработке.
6. Снижение термического сопротивления стенок аппарата за счет удаления накипи и пригара продукта.

23. Массообменные процессы: стадии, виды. Скорость массопередачи, коэффициенты массообменных процессов. Закон молекулярной диффузии (первый закон Фика) и закон конвективной диффузии (основной закон массоотдачи). Движущая сила массообменных процессов. Общие принципы расчета массообменных аппаратов. Интенсификация массообменных процессов.

Ответ:

Массообмен - процесс, который характеризуется переходом одного или нескольких веществ из одной фазы в другую.

Этот переход осуществляется конвективной и молекулярной диффузией, поэтому массообменные процессы называют также диффузионными.

Массообменными процессами называют такие технологические процессы, скорость протекания которых определяется скоростью переноса вещества (массы) из одной фазы в другую конвективной и молекулярной диффузией.

Аппараты, в которых протекают эти процессы, называют массообменными аппаратами.

Массопередача – процесс перехода вещества (или нескольких веществ) из одной фазы в другую в направлении достижения равновесия.

Перенос вещества из фазы к границе раздела фаз или в обратном направлении, т. е. в пределах одной из фаз, называется массоотдачей. Стадии массообменных процессов

Процесс переноса вещества из одной фазы в другую, аналогично процессу переноса тепла, осуществляется в три стадии:

перенос к поверхности раздела фаз, перенос через границу раздела фаз и перенос в пределах другой фазы.

При теплопередаче обменивающиеся теплом среды разделены твердой стенкой, в то время как массопередача происходит обычно через границу поверхности раздела соприкасающихся фаз.

Эта граница может быть:

- либо подвижной (массопередача в системах газ-жидкость или пар-жидкость, жидкость-жидкость),*
- либо неподвижной (массопередача с твердой фазой).*

Массообменные процессы – это:

- экстракция,*
- перегонка и ректификация,*



- сушка,
- кристаллизация,
- абсорбция,
- адсорбция и др.

Количество вещества, переносимое при массообмене, пропорционально поверхности контакта фаз и движущей силе процесса - разности концентраций распределяемого вещества во взаимодействующих фазах.

Массообменные процессы обратимы, т.е. распределяемое между фазами вещество может переходить из одной фазы в другую в зависимости от концентрации этого вещества в фазах и условий равновесия. Условия равновесия зависят от температуры и давления проводимого процесса и определяются правилом фаз Гиббса, принципом Ле-Шателье и другими законами фазового равновесия.

Скорость массопередачи связана с механизмом переноса распределяемого вещества в фазах, между которыми происходит массообмен.

Перенос вещества внутри фазы может происходить только путем молекулярной диффузии, либо путем конвекции и молекулярной диффузии одновременно.

Посредством одной молекулярной диффузии вещество перемещается, строго говоря, лишь в неподвижной среде (твердой фазе).

В движущейся среде перенос вещества осуществляется как молекулярной диффузией, так и самой средой (конвекцией) в направлении ее движения.

В турбулентном потоке перенос молекулярной диффузией наблюдается только вблизи границы раздела фаз.

Отношение концентраций компонента в фазах в условиях равновесия называется коэффициентом распределения.

Коэффициент массоотдачи показывает, какое количество вещества передается от поверхности контакта фаз площадью в 1 м² в ядро воспринимающей фазы или в обратном направлении в течение единицы времени при разности концентраций, равной единице, в м/с, кг/(ед. дв. силы

× м² × с), кмоль/ (ед. дв. силы × м² × с).

Коэффициент массопередачи показывает, какое количество вещества передается от ядра потока отдающей фазы в ядро потока воспринимающей фазы или в обратном направлении через поверхность контакта фаз площадью в 1 м² в течение единицы времени при разности концентраций, равной единице.

По физическому смыслу коэффициенты массопередачи отличаются от коэффициентов массоотдачи, но выражаются в одинаковых единицах.

Коэффициент диффузии D показывает, какое количество вещества диффундирует через поверхность в 1 м² в течение 1 ч при разности концентраций равной единице на расстояние 1 м, в м²/с.

Закон молекулярной диффузии (первый закон Фика)



Основан на том, что диффузия в газах и растворах жидкостей происходит в результате беспорядочного теплового движения молекул, атомов, ионов, коллоидных частиц, приводящего к переносу вещества из зоны высокой концентрации в зону низких концентраций.

Масса вещества, продиффундировавшего за время через элементарную поверхность (нормальную к направлению диффузии), пропорциональна градиенту концентрации этого вещества.

По структуре закон Фика аналогичен закону Фурье

Закон конвективной диффузии (основной закон массоотдачи)

Количество вещества, перенесенного потоком от поверхности раздела фаз (контакта фаз) в воспринимающую фазу или в обратном направлении, прямо пропорционально разности концентраций у поверхности контакта фаз и в ядре потока воспринимающей фазы, площади поверхности контакта фаз и продолжительности процесса.

Позволяет определить количество вещества, переносимого в одной фазе к границе или от границы (при массоотдаче) раздела фаз.

Движущая сила массообменных процессов определяется степенью отклонения от равновесия, которое вычисляется как разность между рабочей и равновесной концентрациями или, наоборот, равновесной и рабочей, в зависимости от того, какие значения из них больше. Движущую силу можно выразить через концентрацию распределяемого вещества в фазе.

Различают локальные движущие силы, вычисленные для массообменного процесса, протекающего на бесконечно малой площади контакта фаз, и движущие силы для всего процесса массообмена в пределах изменения концентраций от начальных до конечных. Для всего процесса массообмена вычисляют средние движущие силы.

В частных случаях, например, при массопередаче в разбавленных растворах (адсорбция, экстракция), а также при расчете массообменных аппаратов, когда для упрощения расчетов аппроксимируют линию равновесия прямой, средняя движущая сила массопередачи определяется как средняя логарифмическая или средняя арифметическая величина из движущих сил на входе и выходе из аппарата.

Расчет массообменных аппаратов

При расчетах аппаратов определяют их диаметр (если аппараты цилиндрической формы) и высоту (или длину).

Диаметр или сечение аппарата отражают его производительность, а высота - интенсивность протекающих в аппарате процессов.

Для расчета высоты противоточных колонных аппаратов (тарельчатые и насадочные абсорбционные и ректификационные, экстракционные аппараты) требуется определить число ступеней изменения концентраций (тарелок) по высоте аппарата.

Рассмотрим процесс массообмена на n -й тарелке. На тарелку поступают газовая фаза G концентрацией y_{n-1} и жидкая фаза L , концентрацией x_{n+1} . В результате массообмена



(Схема) концентрация в газовой фазе снижается до величины y_n , а в жидкой увеличивается до x_n .

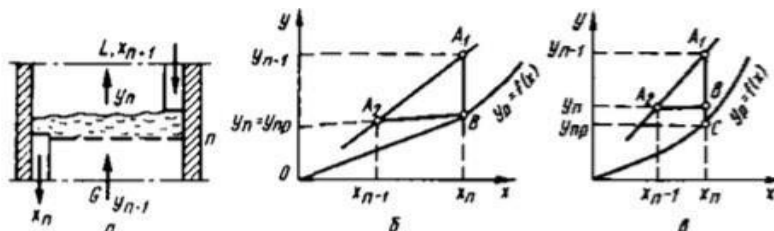


Схема массообмена на тарелке (а) и изображение процесса в координатах $y-x$:

б – в условиях достижения равновесия на тарелке – идеальный процесс;
в – в условиях недостижения равновесия на тарелке – реальный процесс

В случае достижения равновесия между составом удаляющегося с тарелки газа y_n и составом стекающей с нее жидкости x_n их концентрации изоб- ражаются на рисунке б точкой В, лежащей на линии равновесия.

Изменению концентраций в газовой фазе на теоретической ступени соот- ветствует вертикальный отрезок A_1B .

Изменение же концентрации в жидкой фазе от x_n до x_{n-1} изобразится гори- зонтальным отрезком BA_2 .

«Ступенька» A_1BA_2 изображает изменение концентрации в обеих фазах на теоретической тарелке.

Для определения числа теоретических тарелок в колонном аппарате стро- ят последовательно такие «ступеньки», начиная от точки, характеризу- ющей начальные концентрации в газовой и жидкой фазах, до точки, отве- чающей конечным концентрациям в газовой и жидкой фазах.

Число действительных тарелок с учетом КПД определяется соотношением:

$nД = nт / \eta$, где:

$nт$ – число теоретических тарелок; η – КПД = 0,3 – 0,8.

Возможные варианты расчетов аппаратов:

Расчет диффузионных процессов и аппаратов на базе основного уравнения мас- сопередачи.

Расчет диффузионных аппаратов на базе числа единиц переноса.

Расчет диффузионных аппаратов на базе числа теоретических тарелок. "Кнд" ступени и его расчет.

Расчет диффузионных процессов с твердой фазой.

Расчет диффузионных процессов и аппаратов на базе инженерных аппроксимаций кинетических характеристик.

Сравнение методов расчета диффузионных аппаратов.

Часто после завершения расчета размеров массообменных аппаратов возникает необходимость определения их гидравлического сопротивления. Интенсификация м/о процессов



Технологический процесс может быть осуществлен при различных параметрах. При этом затраты энергии, скорость процессов, а, следовательно выход продукции, затраты живого труда и материалов различны. Совершенствование производства направлено на поиск таких режимов, при которых затраты были бы наименьшими, а выход – наибольшим. Такой поиск называется оптимизацией, а режим работы аппарата в наилучших условиях называется оптимальным. Для оценки эффективности процесса на основании экспериментальных и теоретических исследований выводится критерий оптимизации, куда входят параметры, противоположно влияющие на процесс. Оптимизация при этом будет означать поиск компромисса между этими параметрами. Для промышленных производств наиболее предпочтительны непрерывные процессы. Это: и более высокая производительность соответствующих аппаратов, и снижение затрат на автоматизацию управления процессом, и постоянство качественных показателей выходящей продукции. В большинстве случаев оптимален противоток. Интенсивность процесса переноса массы зависит также от площади поверхности, через которую происходит перенос. Если взаимодействующие потоки перемешиваются друг с другом, то интенсивность массообмена тем выше, чем чаще встречаются друг с другом свежие, ранее не вступавшие в контакт части. Процесс тем лучше, чем выше турбулизация потоков и скорость их движения. Оптимизация процесса предполагает также максимальную утилизацию теплоты, поэтому покидающие аппараты потоки, имеющие высокую температуру, могут быть использованы для подогрева других потоков, участвующих в производстве.

24. Перегонка и ректификация, молекулярная перегонка, ректификационные колонны.

Ответ:

Разделение жидкой смеси на составляющие ее чистые компоненты в результате различия их летучести и противоточного взаимодействия жидкого и парового потоков; при этом вещества из жидкой фазы переходят в паровую (при кипении) и, наоборот (при конденсации), обогащают легколетучим компонентом паровую фазу. Перегонка и ректификация – наиболее распространенные методы разделения жидких однородных смесей, состоящих из двух или нескольких летучих компонентов.

Перегонку используют для грубого разделения смесей. Для наиболее полного их разделения применяют ректификацию

В результате перегонки или ректификации исходная смесь разделяется на дистиллят, обогащенный легколетучим компонентом, и кубовый остаток, обогащенный



труднолетучим компонентом. Дистиллят получают в результате конденсации паров в конденсаторе–дефлегматоре. Кубовый остаток получают в кубе установки.

В простейшем случае исходная смесь состоит из двух компонентов. Состояние системы определяют три независимых параметра: давление p , температура t , концентрация x . При выборе любых двух параметров определяется значение третьего.

Смеси с неограниченной растворимостью компонентов по-своему поведению делятся на идеальные и реальные (растворы).

Идеальными смесями называют такие, смешение компонентов которых происходит без выделения и поглощения теплоты и без изменения объема смеси. Они подчиняются закону Рауля, который гласит, что парциальное давление компонента в паре пропорционально мольной доле компонента в жидкости.

Реальные жидкие смеси характеризуются теплотами смешения компонентов, изменением объема при смешении, и их поведение в большинстве случаев не подчиняется закону Рауля. В этих смесях следует учитывать силы взаимодействия молекул паровой фазы, их собственный объем и т.д.

В случае смеси взаимно нерастворимых друг в друге компонентов A и B силы взаимодействия молекул этих компонентов равны нулю, а каждый из них ведет себя независимо от другого. Такие смеси кипят при давлении: P

$= P_A + P_B$. При нерастворимости компонентов парциальное давление любого компонента равно давлению его насыщенного пара при той же температуре.

Температура кипения смеси $t_{см}$ не зависит от состава жидкой смеси и всегда ниже температур кипения чистых компонентов.

Перегонка представляет собой процесс однократного частичного испарения жидкой смеси и конденсации образовавшихся паров (образования дистиллята).

Фракционная перегонка заключается в постепенном испарении жидкости, находящейся в перегонном кубе.

Простая перегонка с дефлегмацией проводится для увеличения степени разделения исходной смеси.

В этом случае пары, уходящие из перегонного куба, поступают в дефлегматор, где частично конденсируются.

При частичной конденсации образуется флегма, обогащенная труднолетучим компонентом, которая сливается обратно в куб и взаимодействует с выходящими из куба парами.

Перегонку с водяным паром проводят с целью понижения температуры кипения исходной смеси веществ, кипящих при температурах выше 100

°С, компоненты которой нерастворимы в воде. При такой перегонке отгоняемый компонент получается обычно в виде смеси с водой при температуре кипения или атмосферном давлении – меньшем, чем температура кипения воды.



Молекулярная перегонка используется для разделения компонентов, кипящих при высоких температурах и не обладающих необходимой термической стойкостью.

Процесс проводится под глубоким вакуумом, соответствующим остаточному давлению 1,31...0,131 Па.

Молекулярная перегонка протекает путем испарения жидкости с ее поверхности.

Процесс осуществляется на близрасположенных поверхностях испарения и конденсации, причем расстояние между ними (обычно 20...30 мм) должно быть меньше длины свободного пробега молекул.

Разность температур между поверхностями испарения и конденсации порядка 100 °С.

Ректификация представляет собой разделение смеси на составляющие ее компоненты в результате многократного частичного испарения жидкости и конденсации паров.

При нагревании жидкой смеси до температуры кипения получим пар равновесного состава, после конденсации которого образуется жидкость нового состава, обогащенная легколетучим компонентом.

В результате последующего нагревания этой жидкости до температуры кипения и конденсации паров получают жидкость следующего состава. Таким образом, проводя многократное испарение жидкости и конденсацию паров, можно разделить исходную смесь на чистые легколетучий и труднолетучий компоненты.

В колонну ректификационной установки поступает исходная смесь, которая разделяется в результате ректификации на дистиллят и кубовый остаток. Выходящие из колонны пары конденсируются в дефлегматоре и попадают в сосуд, где разделяются на две части: одна часть, так называемая флегма, направляется на орошение колонны, а другая отбирается в виде продукта – дистиллята.

Ректификационные колонны

В случае неполной конденсации паров в дефлегматоре они поступают в конденсатор-холодильник, где конденсируются и охлаждаются. Кубовый остаток, в зависимости от его ценности, либо собирается в емкости, либо, как сточные воды, направляется на утилизацию.

В промышленности применяют колпачковые, ситчатые, насадочные, пленочные трубчатые колонны и центробежные пленочные ректификаторы.

Они различаются в основном конструкцией внутреннего устройства аппарата, назначение которого – обеспечение взаимодействия жидкости и пара.

Это взаимодействие происходит при барботировании пара через слой жидкости на тарелках (колпачковых или ситчатых) либо при поверхностном контакте пара и жидкости на насадке или поверхности жидкости, стекающей тонкой пленкой.

Ректификационные установки бывают: непрерывного действия (для разделения многокомпонентных смесей) и периодического действия.



25. Экстракция в системе жидкость – жидкость: стадии, требования к промышленным экстрагентам, органическим растворителям для экстракции, к конструкциям аппаратов для экстракции, аппараты.

Ответ:

Экстракция - избирательное извлечение вещества из жидкой смеси или твердого пористого тела жидкостью - экстрагентом; при этом вещество из жидкой или твердой фазы переходит в жидкую фазу (экстрагент). Движущей силой процесса является разность концентраций. Это один из массообменных процессов, используется для извлечения, разделения и концентрирования растворенных веществ. Под избирательной растворимостью понимается способность жидкости растворять только тот компонент, который следует извлечь. В экстрактор загружаются исходный раствор F, содержащий распределяемое (экстрагируемое) вещество или вещества M, и растворитель L. Жидкость, используемая для извлечения компонентов, называется экстрагентом (E).

Массообмен между фазами протекает при их непосредственном контакте. Полученная в результате экстракции жидкая смесь поступает в разделитель, где разделяется на экстракт (Э) – раствор экстрагированных веществ в экстрагенте и рафинат (R) – остаточный раствор, из которого экстрагированы извлекаемые компоненты.

Разделение смеси на экстракт и рафинат происходит в результате отстаивания или сепарирования.

Экстракцию широко используют для извлечения ценных продуктов из разбавленных растворов, а также для получения концентрированных растворов. Экстракция применяется в химической, нефтеперерабатывающей, пищевой, металлургической, фармацевтической и других отраслях, в аналитической химии и химическом синтезе.

Простейший способ экстракции из раствора - однократная или многократная промывка экстрагентом в делительной воронке. Делительная воронка представляет собой сосуд с пробкой и краном для слива нижнего слоя жидкости. Для непрерывной экстракции используются специальные аппараты - экстракторы, или перколяторы.

В промышленности используют периодическую или непрерывную экстракцию по следующим схемам: одноступенчатой, многоступенчатой противоточной и многоступенчатой с перекрестным током экстрагента, например, перколяция.

Экстракция в системе жидкость – жидкость

Это процесс извлечения растворенного вещества или веществ из жидкости с помощью специальной другой жидкости, не растворяющейся или почти не растворяющейся в первой, но растворяющей экстрагируемые компоненты.

Извлечение из смесей жидких веществ одного из компонентов происходит по закону равновесного распределения до тех пор, пока не установится динамическое равновесие между жидкими фазами.

Вследствие неполноты извлечения в экстракте и в рафинате присутствуют все три компонента – растворитель, извлекаемое вещество и второй компонент смеси (если смесь



состоит из двух компонентов), поступившей на экстракцию; т.е. и экстракт, и рафинат представляют собой тройные системы.

Полученная после экстракции смесь расслаивается на две фазы: экстракт, обогащенный компонентом, и обедненный рафинат, которые находятся в равновесии. Жидкостная экстракция характеризуется конвективной диффузией. Для увеличения площади поверхности фазового контакта одну из фаз диспергируют в виде капель в другой сплошной фазе.

Стадии экстракции жидкости

- 1) приведение в контакт и диспергирование фаз;*
- 2) разделение или расслаивание фаз на экстракт (извлекающая фаза) и рафинат (исчерпываемая фаза);*
- 3) выделение целевых компонентов из экстракта и регенерация экстрагента, для чего наряду с дистилляцией наиболее часто применяют реэкстракцию (процесс, обратный экстракции жидкости), обрабатывая экстракт водными растворами веществ, обеспечивающих полный перевод целевых компонентов в раствор или осадок и их концентрирование;*
- 4) промывка экстракта для уменьшения содержания и удаления механически захваченного исходного раствора.*

Фазы в жидкостной экстракции

Экстрагенты обеспечивают переход целевых компонентов из исчерпываемой (тяжелой) фазы, которая чаще всего представляет собой водный раствор, в извлекающую (легкую) фазу (обычно орг. жидкость). Две контактирующие жидкие фазы и распределяемый между ними целевой компонент образуют экстракционную систему. Извлекающая фаза включает только экстрагент (или смесь экстрагентов) либо является раствором одного или нескольких экстрагентов в разбавителе, служащем для улучшения физ. (вязкость, плотность) и экстракционных свойств экстрагентов. В качестве разбавителей используют, как правило, жидкости (керосин, бензол, хлороформ и др.) либо их смеси, которые в исчерпываемой фазе практически нерастворимы и инертны по отношению к извлекаемым компонентам раствора. Иногда к разбавителям добавляют модификаторы, повышающие растворимость экстрагируемых компонентов в извлекающей фазе или облегчающие расслаивание фаз (спирты, кетоны, трибутилфосфат и т.д.). Степень экстракции вещества можно определить не только экспериментальным путем, но и путем соответствующих расчетов, зная константу или коэффициент распределения вещества, а также отношение объемов водной фазы и фазы органического растворителя.

Требования к промышленным экстрагентам высокая избирательность; высокая экстракционная емкость по целевому компоненту; низкая растворимость в рафинате; совместимость с разбавителями; легкость регенерации;



высокая химическая, а в ряде случаев и радиационная стойкость; негорючесть или достаточно высокая температура вспышки (более 600 °С);

невысокая летучесть и низкая токсичность; доступность и невысокая стоимость.

Требования к органическим растворителям для экстракции

- 1. Органический растворитель должен хорошо извлекать исследуемое вещество из водной фазы.*
- 2. Желательно, чтобы применяемый растворитель был избирательным или селективным. Он должен извлекать из растворов только одно вещество или группу родственных соединений.*
- 3. Растворитель должен иметь незначительную растворимость в воде, а вода не должна заметно растворяться в этом растворителе.*
- 4. Органический растворитель по возможности не должен быть низкокипящим. Температура кипения растворителя должна быть выше 50*

°С. Низкокипящие органические растворители даже при комнатной температуре быстро улетучиваются.

Плотность органических растворителей по возможности должна отличаться от плотности воды и водных растворов. При большой разности плотностей указанных жидкостей разделение фаз происходит быстро.

Экстракторы для жидкостей

По принципу организации процесса бывают непрерывного и периодического действия.

В зависимости от способа контакта фаз экстракторы можно разделить на три группы: ступенчатые, или секционные, дифференциально – контактные и смешительно – отстойные.

В аппарате периодического экстрагирования при перемешивании смеси (А + В) с растворителем С, извлекаемый компонент переходит в раствор, а затем отделяется от растворителя в результате отстаивания в отсеке аппарата, заполненного насадкой; при этом образуется экстракт (С + В₂) и рафинат (А + В₁).

Аппарат непрерывного экстрагирования жидкостей - ротационный экстрактор имеет ротор в виде многослойного перфорированного барабана, вращающегося вокруг горизонтальной оси. Тяжелая жидкость С (растворитель) поступает через полую ось к центру, а легкая смесь (А + В) – в отделения на периферии ротора. Под действием центробежной силы легкая жидкость устремляется ближе к оси, а тяжелая – ближе к периферии, создавая этим противоточное движение жидкостей. Степень перфорации концентричных барабанов ротора составляет 2%. Конструкции экстракторов могут быть различными.

Требования к конструкциям аппаратов для экстрагирования в системах жидкость-жидкость



Эффективность работы аппаратов при прочих равных условиях зависит от совершенства контактирования жидкой исходной смеси и экстрагента, а также от четкости разделения полученной гетерогенной смеси на экстракт и рафинат. Большая поверхность контакта достигается диспергированием одной из жидких фаз (экстрагента или исходной смеси), а четкость разделения (расслоения) – обособленными гравитационными отстойниками, совмещением специальных расслаивающих устройств со смесительными в одном корпусе, созданием центробежных сил. К экстракторам предъявляются требования: высокая удельная производительность, простота и надежность конструкции, малая металлоемкость, низкий расход энергии. Экстракторы делят на аппараты периодического и непрерывного действия. Их классифицируют по способу контакта взаимодействующих потоков (фаз) на две большие группы: смесительно-отстойные и проточные экстракторы.

26. Экстракция жидкость-твердое тело: стадии, эффективность и продолжительность процесса, требования к конструкциям аппаратов для экстракции, аппараты. Выщелачивание.

Ответ:

Под экстрагированием в системе твердое тело – жидкость понимают процессы растворения, выщелачивания, а также непосредственно процесс экстрагирования, в результате проведения которых извлекается один или несколько целевых компонентов из твердой фазы на основе их избирательной растворимости в жидком растворителе.

Процесс проходит через следующие стадии:

- 1) подвод экстрагента (растворителя) к поверхности раздела твердой и жидкой фаз;*
- 2) перенос экстрагента к целевому компоненту, находящемуся в твердом материале;*
- 3) взаимодействие растворителя в результате проведения химической реакции или физического растворения с извлекаемым компонентом;*
- 4) перенос извлеченного компонента к границе раздела твердой и жидкой фаз;*
- 5) отвод целевого компонента в ядро потока растворителя (экстрагента). Стадии экстракции жидкость-твердое тело*

Под экстрагированием в системе твердое тело – жидкость понимают процессы растворения, выщелачивания, а также непосредственно процесс экстрагирования, в результате проведения которых извлекается один или несколько целевых компонентов из твердой фазы на основе их избирательной растворимости в жидком растворителе.

Процесс проходит через следующие стадии:

- 1) подвод экстрагента (растворителя) к поверхности раздела твердой и жидкой фаз;*
- 2) перенос экстрагента к целевому компоненту, находящемуся в твердом материале;*



- 3) *взаимодействие растворителя в результате проведения химической реакции или физического растворения с извлекаемым компонентом;*
- 4) *перенос извлеченного компонента к границе раздела твердой и жидкой фаз;*
- 5) *отвод целевого компонента в ядро потока растворителя (экстрагента).*

При экстрагировании растворимых веществ из ткани растительного сырья обычно не все перечисленные выше стадии имеют место, либо не все играют существенную роль. Механизм экстрагирования зависит от того, в каком фазовом состоянии находится извлекаемый ценный компонент в твердом теле-носителе.

Эффективность процесса экстрагирования из твердого продукта

Важны следующие условия:

1. *Правильный выбор типа растворителя. Растворитель должен извлекать из продукта только нужный компонент без посторонних примесей. Экстрагент не должен вызывать коррозии аппаратуры. Растворитель должен полностью удаляться из экстрагируемого продукта. (В пищевой промышленности в качестве экстрагента используют воду, бензин, этиловый спирт, ацетон, дихлорэтан).*
2. *Достижение необходимой степени измельчения продукта, что приводит к увеличению поверхности контакта его с экстрагентом. Желательно, чтобы размер частиц был одинаковым.*
3. *Создание оптимальных температурных условий. Повышение температуры продукта приводит к увеличению скорости внутренней диффузии и интенсификации всего процесса экстрагирования.*
4. *Создание нужного давления. Повышение давления приводит к увеличению выхода экстрагируемых веществ, но следует помнить, что повышение давления приводит к необходимости использования сложной, герметически закрытой и прочной аппаратуры.*
5. *Достаточное количество растворителя. Используемое количество экстрагента должно быть оптимальным, т.е. если его будет слишком много, то возможно экстрагирование примесей. Если экстрагента будет меньше, то экстрагируемый компонент не будет полностью извлечен, что приведет к нежелательным потерям сырья.*
6. *Соблюдение оптимальной продолжительности процесса экстрагирования. При увеличении продолжительности процесса повышается выделение экстрагируемого компонента, но снижается производительность процесса.*

Продолжительность процесса экстрагирования из твердого продукта
Продолжительность процесса определяется скоростью процесса, которая зависит от большого числа параметров – от формы нахождения извлекаемого компонента, характера взаимодействия твердого носителя с извлекаемым компонентом, различия в избирательной способности экстрагента по отношению к компонентам, содержащимся в твердой фазе, от кинетики процесса, которая определяется скоростью протекания



самой медленной стадией – подвода и отвода растворителя и экстрагированного ценного компонента, от структуры пористого материала.

Требования к аппаратам для экстрагирования в системах твердое тело- жидкость

Аппаратурное оформление процесса экстрагирования в системах твердое тело-жидкость определяется физическими свойствами перерабатываемого твердого материала и экстрагента – размерами частиц, их механической прочностью, размерами пор и характером распределения в них извлекаемого вещества, плотностью жидкой и твердой фаз.

Имеет значение учет требований к степени обработки материала, к выходной концентрации экстракта.

К конструкциям аппаратов предъявляют следующие требования:

- 1. высокая производительность на единицу рабочей вместительности аппарата;*
- 2. высокая концентрация образующегося раствора;*
- 3. низкий расход энергии.*

Аппараты можно классифицировать по:

- 1 направлению движения экстрагента и твердой фазы (противоточные, прямоточные и комбинированные),*
- 2 характеру циркуляции растворителя (с однократным прохождением, с рециркуляцией и оросительные),*
- 3 параметрами процесса (работающие под атмосферным давлением, под вакуумом или под избыточным давлением),*
- 4 свойствам обрабатываемого твердого материала (для тонкодисперсных, мелкодисперсных, крупнозернистых, пастообразных, волокнистых и др.),*
- 5 гидродинамическому характеру процесса (с неподвижным, движущимся, взвешенным или псевдооживленным слоем твердой фазы).*

Выщелачивание (частный случай экстракции) – это извлечение из твердого тела одного или нескольких веществ с помощью растворителя, обладающего избирательной способностью.

В пищевой промышленности выщелачиванием обрабатывают капиллярно- пористые тела растительного или животного происхождения. В качестве растворителей применяют: воду – для экстрагирования сахара из свеклы, кофе, цикория, чая; спирт и водно-спиртовую смесь – для получения настоев в ликероводочном и пивобезалкогольном производствах; бензин, трихлорэтилен, дихлорэтан – в маслоэкстракционном и эфиромасличном производствах и др.

Процесс выщелачивания заключается в проникновении растворителя в поры твердого тела и растворении извлекаемых веществ.

Равновесие при выщелачивании устанавливается при выравнивании химического потенциала растворенного вещества и его химического потенциала в твердом материале.



Достигаемая концентрация раствора, соответствующая его насыщению, называется растворимостью. Процесс выщелачивания заканчивается при наступлении равновесия концентраций растворенного вещества в экстракте и твердом материале. Влияют: внутреннее строение твердого тела и химический состав растворителя.

Экстракционные аппараты для выщелачивания

В промышленности растворение и выщелачивание проводят периодическим и непрерывным способами соответственно в перколяторах и диффузионных аппаратах различной конструкции в прямотоке и противотоке, одноступенчатых и многоступенчатых.

Перколятор представляет собой вертикальный аппарат периодического действия с цилиндрическим корпусом, коническим днищем и крышкой. В днище расположена решетка, на которую через верхний люк загружается слой измельченного твердого материала. Растворитель подается через верхний штуцер, экстракт сливается через нижний штуцер. После выщелачивания материал выгружается через нижний откидывающийся люк.

Варианты конструкций:

наклонный двухшнековый диффузионный аппарат, двухколонный диффузионный аппарат (с взвешенным слоем), ленточный экстрактор, аппараты с псевдоожиженным слоем (максимально эффективное выщелачивание).

27. Сушка: способы подвода теплоты, особенности процесса, виды сушки.

Ответ:

Удаление влаги из твердых и пластических материалов путем ее испарения; при этом влага переходит в паровую или газовую фазу.

Это сложный тепломассообменный процесс. Скорость его во многих случаях определяется скоростью внутридиффузионного переноса влаги в твердом теле.

Целью сушки является улучшение качества материала (снижение его объемной массы, повышение прочности) и, в связи с этим, увеличение возможностей его использования: улучшение качества веществ и материалов, подготовка их к переработке, использованию, транспортированию и хранению. Данный процесс часто является последней технологической операцией, предшествующей выпуску готового продукта. При этом жидкость предварительно удаляют более дешевыми механическими способами, окончательно-тепловыми.

Сушке подвергают влажные тела: твердые-коллоидные, зернистые, порошкообразные, кусковые, гранулированные, листовые, тканые и др. (эта группа высушиваемых материалов наиболее распространена); пастообразные; жидкие-суспензии, эмульсии, растворы

По способу подвода теплоты к высушиваемому материалу различают следующие методы сушки:



- конвективная, или воздушная, сушка – подвод теплоты осуществляется при непосредственном контакте сушильного агента с высушиваемым материалом;
- контактная сушка – путем передачи теплоты от теплоносителя (например, насыщенного водяного пара) к материалу через разделяющую их стенку;
- радиационная сушка – путем передачи теплоты инфракрасными излучателями;
- диэлектрическая сушка (СВЧ – сушка) – путем нагревания материала в поле токов высокой частоты;
- сублимационная сушка – сушка в глубоком вакууме в замороженном состоянии.
- акустическая (с помощью ультразвука) Особенности процесса сушки

Процесс сушки характеризуется двумя периодами: постоянной скорости и падающей скорости.

В первом периоде удаляется поверхностная влага материала. При этом все тепло расходуется только на испарение влаги. Температура материала в этот период постоянна и равна температуре мокрого термометра психрометра.

После достижения критической влажности начинается второй период сушки, когда удаляется влага, подошедшая к поверхности за счет диффузии внутренних слоев. Температура материала постепенно возрастает и в конце сушки приближается к температуре теплоносителя. Этот период длится до достижения равновесной влажности.

При сушке различных материалов следует выбирать метод сушки и конструкцию сушилки в соответствии с техническими условиями при высушивании.

Естественную сушку на открытом воздухе из-за значительной продолжительности используют крайне редко и гл. обр. в районах с теплым климатом.

В хим. производствах применяют, как правило, искусственную Сушку, про- водимую в специальных сушильных установках, в состав которых входят: сушильный аппарат, или сушилка, где непосредственно протекает процесс; вспомогательное оборудование- теплообменные аппараты (калориферы), тяго-дутьевое устройство (вентилятор, воздуходувка) и система пыле- очистки, соотв. для нагревания сушильного агента, пропускания его через сушилку и отделения от высушенного продукта.

Инфракрасная сушка - сушка продуктов питания с применением инфракрасного излучения. Инфракрасное излучение твердых тел обусловлено возбуждением молекул и атомов тела вследствие их теплового движения. При поглощении инфракрасного излучения облучаемым телом в нем увеличивается тепловое движение атомов и молекул, что вызывает его нагревание.

Сушка продуктов по данной технологии позволяет сохранить содержание витаминов и других биологически активных веществ в сухом продукте на уровне 80-90% от исходного сырья. При непродолжительном замачивании (10-20 мин.) прошедший сушку продукт восстанавливает все свои натуральные органолептические, физические и химические свойства и может употребляться в свежем виде или подвергаться любым видам



кулинарной обработки. Сушка продуктов производится при низкой температуре - 50- 60 градусов Цельсия, сушка продуктов производится с высокой скоростью

- 30-200 мин, простота и надежность, низкая цена и высокая окупаемость. Микроволновый метод сушки основан на воздействии на обезвоживаемый продукт интенсивного электромагнитного поля сверхвысоких частот (СВЧ). Под действием СВЧ поля молекулы воды (диполи) начинают совершать колебательные и вращательные движения, ориентируясь с частотой поля по его электрическим линиям. Движение молекул - это и есть тепловая энергия. Чем больше воды в заданном объеме, тем больше тепловой энергии выделяется. Таким образом, разогрев происходит во всем объеме продукта, причем более влажные участки получают больше энергии. За счет этого происходит удаление влаги, сушка продукта, и, одновременно, - выравнивание влажности в объеме продукта. Причем при снижении влажности сырья процесс сушки продукта не замедляется, поскольку механизм теплопроводности не играет здесь ключевой роли. Характеризуется малым временем и относительно низкой температурой процесса, что применительно к пищевым продуктам обуславливает очень высокую сохраняемость полезных веществ и витаминов.

Сублимационная вакуумная сушка (также известная как лиофилизация или возгонка) - это удаление влаги из свежесзамороженных продуктов в условиях вакуума. В настоящее время этот метод сушки продуктов является наиболее совершенным, но в то же время и наиболее дорогостоящим.

Принцип сублимационной сушки основан на том физическом факте, что при значениях атмосферного давления ниже определенного порога - т.н. "тройной точки" (для чистой воды: 6,1 мбар при 0 градусов Цельсия) вода может находиться только в двух агрегатных состояниях - твердом и газообразном, переход воды в жидкое состояние в таких условиях невозможен. И если парциальное давление водного пара в окружающей среде ниже чем парциальное давление льда, то лед продукции прямо переводится в газообразное состояние минуя жидкую фазу. Процесс сублимационной сушки продуктов физически состоит из двух основных этапов (замораживание и сушка продукта) и этапа досушивания. Так как удаление основной массы влаги из объектов сушки происходит при отрицательных температурах (20...-30 градусов Цельсия), а их досушивание осуществляется также при щадящем (не выше +40 градусов) температурном режиме, то в результате достигается высокая степень сохранности всех наиболее биологически ценных компонентов исходного сырья.

Кондуктивный способ сушки пищевых продуктов основывается на передаче тепла высушиваемому продукту путем непосредственного контакта с нагреваемой поверхностью сушильного оборудования. Из-за высокой температуры (320-340 градусов Цельсия) в камере сушильного оборудования, конечный сухопроduct теряет 30-40% витаминов и биологически активных веществ и становится ломким. Большее применение



этот способ сушки находит при сушке пиломатериалов, а также сырья и продукции в текстильной промышленности.

Одним из самых распространенных способов сушки продуктов в настоящее время является конвективный способ сушки, основан на передаче тепла высушиваемому продукту за счет энергии нагретого сушильного агента - воздуха или парогазовой смеси. Сушка продуктов при этом способе происходит при омывании продукта нагретым газом, воздухом, топочными газами, перегретым паром и другими теплоносителями, которые имеют температуру, отличную от температуры подвергающегося сушке материала. При этом способе сушки за счет сообщаемой продукту тепловой энергии идет испарение находящейся в продукте влаги, а унос паров влаги осуществляется сушильным агентом.

Различают конвективную сушку материалов в слое, при которой применяются сушилки с омыванием материала в слое или изделия агентом сушки (туннельные, камерные, петлевые, валковые, турбинные, ленточные, шахтные сушилки), а также конвективная сушка с сопловым обдувом плоских материалов.

Кроме этого, различают конвективную сушку материалов или изделий во взвешенном и полувзвешенном состоянии, которая может осуществляться в барабанных установках, в установках с кипящим слоем, в пневматических трубах-сушилках, в вихревом потоке, а также с помощью сушки распылением.

Акустическая сушка основана на воздействии на обезвоживаемый продукт интенсивных ультразвуковых волн.

Данный процесс сушки носит циклический характер, волна выбивает влагу, находящуюся на поверхности продукта, затем оставшаяся влага равномерно распределяется по капиллярам и процесс повторяется снова. Это происходит до тех пор, пока продукт не достигнет заданной влажности.

Акустический способ позволяет сушить широкий набор материалов: продукты сельского хозяйства (зерно, овощи, фрукты и другие), древесина, хлопок, лекарственные препараты и травы, бумага, продукция химической и других отраслей промышленности.

При акустической сушке влага экстрагируется из подвергаемого сушке продукта под действием звука с соответствующими характеристиками.

Принципиальная особенность способа: сушка продуктов протекает без повышения температуры продуктов.

28. Кристаллизация: стадии, статика и кинетика процесса кристаллизации, аппараты для кристаллизации, конструктивные требования к выпарным аппаратам.

Ответ:

Кристаллизацией называют процесс выделения твердой фазы в виде кристаллов из пересыщенных растворов и расплавов, вещество из жидкой фазы переходит в твердую фазу. Кристаллы представляют собой твердые тела различной геометрической формы, ограниченные плоскими гранями. Кристаллы, содержащие молекулы воды, называют



кристаллогидратами. Производственный технологический процесс кристаллизации состоит из нескольких стадий:

кристаллизация,

отделение кристаллов от маточных растворов, перекристаллизация (если требуется), промывка и сушка кристаллов.

Статика и кинетика процесса кристаллизации

Твердые вещества в зависимости от того, как меняется их растворимость с повышением температуры, могут обладать

«положительной» или «отрицательной» растворимостью. Если растворимость увеличивается с повышением температуры, такие вещества обладают «положительной» растворимостью, если снижается, говорят об

«отрицательной» растворимости вещества в данном растворителе. Раствор, находящийся в равновесии с твердой фазой при данной температуре, называют насыщенным. В таких растворах между твердым веществом и раствором имеет место динамическое равновесие, характеризующееся тем, что в единицу времени количество частиц, растворяющихся из кристаллов и переходящих в раствор, равно числу частиц, кристаллизующихся в растворе и переходящих в твердую фазу.

Пересыщенными называют такие растворы, в которых концентрация растворенного вещества больше его растворимости. Пересыщенные растворы неустойчивы, легко переходят в насыщенные растворы. При таком переходе из пересыщенных растворов выпадает твердая фаза.

Для растворов веществ, зависимость которых от температуры неярко выражена, переход в область пересыщенных растворов происходит только при очень значительном снижении температуры.

При изменении температуры от t_2 до t_1 количество выпавшей из раствора твердой фазы невелико и пропорционально изменению концентрации раствора.

Пересыщение раствора может быть достигнуто и при постоянной температуре t_2 путем удаления части растворителя.

При этом из раствора выпадает часть твердой фазы, пропорциональная разности начальной и конечной концентраций. Следовательно, кристаллизацию таких растворов можно провести как снижением температуры раствора, так и путем удаления части растворителя.

Для веществ с ярко выраженной зависимостью растворимости от температуры оптимальным методом кристаллизации является снижение температуры.

Если растворимость вещества не изменяется с увеличением температуры, то кристаллизация осуществляется путем удаления растворителя.

Переход вещества из раствора в твердую фазу осуществляется путем диффузии растворенного вещества через пограничный слой, окружающий поверхность кристалла. Скорость процесса кристаллизации может определяться скоростью диффузии



растворенного вещества через пограничный слой, либо скоростью слияния вещества с телом кристалла, либо скоростью обеих стадий одновременно.

Основными факторами, определяющими скорость кристаллизации, являются степень пересыщения раствора, температура, образование центров кристаллизации, интенсивность перемешивания, наличие примесей в растворе.

Процесс кристаллизации состоит из двух стадий: образования центров кристаллизации и роста кристаллов.

Образование центров кристаллизации в пересыщенных или переохлажденных растворах может инициироваться искусственно, например при добавлении в раствор тонкодисперсных частиц или «затравки», или возникать самопроизвольно.

Рост кристаллов происходит на сформировавшемся зародыше за счет адсорбции частиц растворенного вещества из раствора, кристалл растет одновременно по всем граням, однако с различной скоростью роста, что приводит к изменению формы и размеров кристаллов в процессе кристаллизации. При получении кристаллического сахара, соли требуются максимальная однородность кристаллов и их правильная форма.

Форма кристаллов в основном зависит от природы кристаллизующего вещества. Неоднородность получаемых кристаллов связана, как правило, с плохим перемешиванием раствора.

Увеличение однородности кристаллов достигается их последующей классификацией.

Аппараты для кристаллизации

При периодической кристаллизации в аппарат загружают порцию исходного раствора и доводят ее до состояния пересыщения. В таком растворе либо происходит самопроизвольное зарождение кристаллов, либо его инициируют введением затравки или механическим воздействием, например ультразвуковыми колебаниями. Далее происходит рост кристаллов в изотермических или изогидрических условиях при подпитке свежим раствором или без нее. При достижении необходимого содержания кристаллов или, что эквивалентно, максимального истощения маточного раствора всю массу удаляют из аппарата и направляют на механическое разделение, например центрифугированием, а в кристаллизационном аппарате начинают новый цикл.

При непрерывной кристаллизации исходный раствор и готовый продукт движутся непрерывно; параметры процесса изменяются вдоль потока массы в аппарате. При этом возможно проявление действия на процесс гидродинамических факторов.

Отдельные фазы процесса часто выполняют в разных аппаратах. Начинают кристаллизацию в вакуум-аппаратах с обогревом; по достижении предельной концентрации массы возможен ее спуск из выпарного аппарата и перевод в мешалки – кристаллизаторы с охлаждением.

Конструктивные требования к выпарным аппаратам для кристаллизации

- возможность большого объемного уваривания массы без нарушения процессов теплопередачи;



- надежная циркуляция и выпуск густой массы.

Для выполнения этих требований применяют специфичные формы рабочих объемов и теплообменников вакуум-аппаратов:

используют конические спускные отверстия большого диаметра;

диаметры кипяtilьных труб выбирают не менее 85 мм; поверхности нагрева кипяtilьников опускают предельно низко, расширяют верхнюю часть аппарата и т.д.

Аппараты для кристаллизации при охлаждении раствора называют мешалками-кристаллизаторами. В связи с тем, что при чрезмерно быстром охлаждении возможно загущение раствора без выпадения кристаллов, при соединении кристаллизаторов-мешалок в батарее готовый продукт в последнем кристаллизаторе подогревают для облегчения отделения от маточного раствора в центрифугах.

Аппараты для непрерывной кристаллизации также выполняют с перемешиванием продукта или без него. Отвод кристаллов и истощенного раствора осуществляют отдельно. В аппаратах с перемешиванием удастся лучше контролировать процесс и управлять им, в частности, отслеживать его важнейший параметр – степень пересыщения раствора.

29. Абсорбция: физические основы, конструктивные особенности абсорберов и классификация.

Ответ:

Абсорбция (лат. *absorptio* от *absorbere* — поглощать) —поглощение сор- бата всем объемом сорбента, процесс поглощения газов, паров или парообразных смесей (абсорбтивов) из газовых или паровых смесей жидкими по- глотителями (абсорбентами), имеет место переход вещества из газовой или паровой фазы в жидкую. Процесс является избирательным и обратимым, что позволяет применить его с целью получения растворов газов в жидкостях, а также для разделения газовых или паровых смесей. На этом свойстве абсорбционных процессов основано выделение поглощенного газа из раствора - десорбция. Чаще всего встречается абсорбция (поглощение, растворение) газов жидкостями. Но известны и процессы абсорбции газов и жидкостей кристаллическими и аморфными телами (например, абсорбция водорода металлами, абсорбция низкомолекулярных жидкостей и газов цеолитами, абсорбция нефтепродуктов резиботехническими изделиями и т.п.).

Применяется для разделения смесей, состоящих из веществ, имеющих различную способность к поглощению подходящими абсорбентами. При этом целевыми продуктами могут быть как абсорбировавшиеся, так и не абсорбировавшиеся компоненты смесей.

В процессе абсорбции происходит не только увеличение массы абсорбирующего материала, но и существенное увеличение его объема (набухание), а также изменение его физических характеристик – вплоть до агрегатного состояния.



В случае физической абсорбции абсорбированные вещества могут быть вновь извлечены из абсорбента посредством его нагревания, разбавления неабсорбирующей жидкостью или иными подходящими способами.

Регенерация химически абсорбированных веществ также иногда возможна.

Она может быть основана на химическом или термическом разложении продуктов химической абсорбции с высвобождением всех или некоторых из абсорбированных веществ.

Но во многих случаях регенерация химически абсорбированных веществ и химических абсорбентов бывает невозможной или технологически/экономически нецелесообразной.

Явления абсорбции широко распространены не только в промышленности, но и в природе (пример - набухание семян), а также в быту.

При этом они могут приносить как пользу, так и вред (например, физическая абсорбция атмосферной влаги приводит к набуханию и последующему расслоению деревянных изделий, химическая абсорбция кислорода резиной - к потере ею эластичности и растрескиванию).

Физические основы абсорбции

При взаимодействии газа с жидкостью возникает система, состоящая из двух фаз и трех компонентов – распределяемого вещества и двух веществ носителей.

Тремя основными параметрами, определяющими фазовое равновесие в системе, являются давление, температура и концентрация.

В условиях равновесия при $t = \text{const}$ зависимость между равновесными концентрациями выражается законом Генри, который гласит: при данной температуре мольная доля газа в растворе прямо пропорциональна парциальному давлению газа над раствором.

Константа Генри зависит от природы растворяющегося вещества (абсорбтива), абсорбента и температуры.

Согласно закону Дальтона, парциальное давление компонента в газовой смеси равно общему давлению, умноженному на мольную долю этого компонента в смеси.

Движущие силы процесса определяются разностью между рабочими и равновесными концентрациями.

В реальных массообменных аппаратах равновесие не достигается и удельный расход абсорбента должен быть всегда больше минимального.

Абсорберы

Аппараты для проведения процессов абсорбции называются абсорберами. Абсорбция протекает по поверхности раздела фаз, поэтому абсорберы должны иметь развитую поверхность контакта фаз между газом и жидкостью.

Используют следующие принципиальные схемы абсорбционных процессов: прямоточные, противоточные, одноступенчатые с рециркуляцией и многоступенчатые с рециркуляцией. Прямоточная схема взаимодействия веществ в абсорбере. В этом случае потоки газа и абсорбента движутся в одном направлении; при этом газ с большей концентрацией



абсорбтива на входе приводится в контакт с жидкостью, имеющей меньшую концентрацию абсорбтива, а газ с меньшей концентрацией взаимодействует на выходе из абсорбера с жидкостью, имеющей большую концентрацию абсорбтива.

Противоточная схема. В противоточном абсорбере в одном конце аппарата контактируют газ и жидкость, содержащие большие концентрации абсорбтива, а в другом, противоположном конце – меньшие достигается большая конечная концентрация абсорбтива в абсорбенте, чем при прямоточном.

Расход абсорбента также ниже. Однако из-за того, что средняя движущая сила при противотоке ниже, габариты противоточного абсорбера больше, чем прямоточного.

Схема с рециркуляцией абсорбента (жидкости) предусматривает многократный возврат абсорбента в абсорбер, а газовая фаза проходит через абсорбер снизу вверх. Абсорбент подается в верхнюю часть абсорбера и движется противотоком к газовой фазе. В результате смешения свежего абсорбента концентрацией с выходящим из абсорбера его концентрация повышается.

Схема с рециркуляцией абсорбтива (газовой фазы). Рециркуляция абсорбента целесообразна в случае абсорбции труднорастворимых газов, а рециркуляция абсорбтива, которая приводит к увеличению коэффициента массо-отдачи в газовой фазе, – в случае абсорбции хорошо растворимых газов.

Классификация абсорберов (по поверхности контакта фаз)



Особенности конструкции абсорберов

В поверхностных абсорберах газ пропускается над поверхностью движущейся жидкости.

Пленочные абсорберы более компактны и эффективны, чем поверхностные. В пленочных - поверхностью контакта фаз является поверхность стекающей пленки жидкости.

Барботажные абсорберы. В них поверхность контакта фаз создается потоками газа и жидкости.

Тарельчатые барботажные колонны являются эффективными и наиболее распространенными аппаратами, внутри которых одна под другой размещено определенное количество горизонтальных перфорированных перегородок тарелок, обеспечивающих течение жидкости сверху вниз, а пара – снизу вверх.



Тарельчатые колонны бывают с колпачковыми, клапанными, провальными ситчатыми тарелками, на которых имеет место неорганизованный перелив жидкости через отверстия, и с ситчатыми тарелками с переливными устройствами.

Распыливающие / распылительные абсорберы. Поверхность контакта фаз создается, вследствие разбрызгивания жидкости в газовом потоке, применяются для абсорбции хорошо растворимых газов.

Насадочные абсорберы. В них поверхностью контакта фаз является поверхность растекающейся по специальной насадке жидкости.

Чтобы насадка работала эффективно, она должна удовлетворять следующим требованиям:

- Оказывать небольшое гидравлическое сопротивление газовому потоку;*
- Обладать большой удельной поверхностью;*
- Хорошо смачиваться рабочей жидкостью;*
- Равномерно распределять жидкость по сечению абсорбера;*
- Быть коррозиестойкой по отношению к рабочей жидкости и газу;*
- Обладать высокой механической прочностью;*
- Быть легкой;*
- Иметь невысокую стоимость.*

Наиболее распространенной насадкой являются Рашига: $15 \times 15 \times 2,5$; $25 \times 25 \times 3$; $50 \times 50 \times 3$ мм.

Расчет абсорберов заключается в определении расхода абсорбента, гидравлического сопротивления, диаметра и высоты абсорбера.

30.Адсорбция: применение, адсорбенты пищевых производств, статика и кинетика процесса адсорбции, конструктивные особенности адсорберов и классификация.

Ответ:

Адсорбцией называется процесс поглощения вещества / веществ поверхностным слоем другого вещества адсорбента (переход вещества из газовой или жидкой фазы в твердую, реже – жидкую)

Поглощаемое вещество называется адсорбтивом. Этот процесс обратим. Десорбция – процесс обратный сорбции.

На поверхности раздела двух фаз помимо адсорбции, обусловленной в основном физическими взаимодействиями (главным образом это Ван-дер-Ваальсовы силы), может идти химическая реакция. Этот процесс называется хемосорбцией. Четкое разделение на адсорбцию и хемосорбцию не всегда возможно. Одним из основных параметров, по которым различаются эти явления является тепловой эффект. Так, тепловой эффект физической адсорбции обычно близок к теплоте сжигания адсорбата, тепловой эффект



хемосорбции значительно выше. Кроме того, в отличие от адсорбции хемосорбция обычно является необратимой и локализованной.

Таким образом, различают физическую и химическую адсорбцию. Физическая адсорбция имеет место при взаимном притяжении молекул адсорбтива и адсорбента под действием сил Ван-дер-Ваальса. При физической адсорбции не возникает химического взаимодействия адсорбированного газа с адсорбентом.

Химическая адсорбция, или хемосорбция, характеризуется образованием химической связи между молекулами поглощенного вещества и молекулами адсорбента, что является результатом химической реакции.

Примером промежуточных вариантов, сочетающих черты и адсорбции и хемосорбции является взаимодействие кислорода на металлах и водорода на никеле: при низких температурах они адсорбируются по законам физической адсорбции, но при повышении температуры начинает протекать хемосорбция.

Процесс адсорбции применяется в промышленности при очистке и осушке газов, очистке и осветлении растворов, разделении смесей газов или паров. Адсорбция применяется для очистки воздуха в противогазах.

В пищевой технологии адсорбцию используют для очистки диффузионного сока и сахарных сиропов, осветлении пива и фруктовых соков, очистки от органических и других соединений спирта, водки, коньяка, вин, сиропов в крахмалопаточном производстве.

Адсорбенты пищевых производств

Адсорбенты, которые непосредственно контактируют с продуктами, должны быть биологически безвредными, т.е. они должны быть нетоксичными и прочными, не засорять продукт. Активные угли – получают су- хой перегонке из дерева, торфа, костей. Активирование проводят при прокаливании углей при температуре свыше 900оС. Обычно применяют для очистки промышленных газовых выбросов. В спиртовом производстве применяют для извлечения из сортировки (смесь спирта и воды) и спирта- ректификата альдегидов, сложных эфиров, карбоновых кислот. Также уголь извлекает глюкозу, осветляет пиво и т.д.

Силикагели – продукты обезвоживания геля кремниевой кислоты. Их получают обработкой раствора силиката натрия минеральными кислотами или растворами их солей и используют для очистки воздуха, осветления пива и фруктовых соков.

Алюмогели (гидроокись алюминия), водные алюмосиликаты природного или синтетического происхождения. Размер пор синтетических цеолитов соизмерим с размерами сорбируемых молекул, поэтому они могут адсорбировать молекулы, проникающие в поры.

Цеолиты - водные алюмосиликаты природного или синтетического происхождения. Размер пор синтетических цеолитов соизмерим с размерами сорбируемых молекул, поэтому они могут адсорбировать молекулы, проникающие в поры. водные алюмосиликаты природного или синтетического происхождения. Размер пор



синтетических цеолитов соизмерим с размерами сорбируемых молекул, поэтому они могут адсорбировать молекулы, проникающие в поры.

Глины и другие природные глинистые адсорбенты – бентонитовые глины на основе монтмориллонита и отбеливающие глины: гумбрин, асканит и др. – являются высокодисперсными системами со сложным химическим составом. В них входят SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO и другие окислы металлов.

Наиболее распространенный метод активации природных глин – обработка их минеральными кислотами. При этом удаляются оксиды кальция, магния, железа, алюминия и других металлов, образуются дополнительные поры.

Независимо от природы адсорбционных сил количество вещества, адсорбированного единицей массы или объема определенного адсорбента, зависит от природы поглощенного вещества, температуры, давления и количества примесей в фазе, из которой поглощается вещество. Адсорбция сопровождается уменьшением давления пара поглощаемого вещества в исходной смеси и выделением теплоты. Ее количество определяется экспериментально.

Статика и кинетика адсорбции

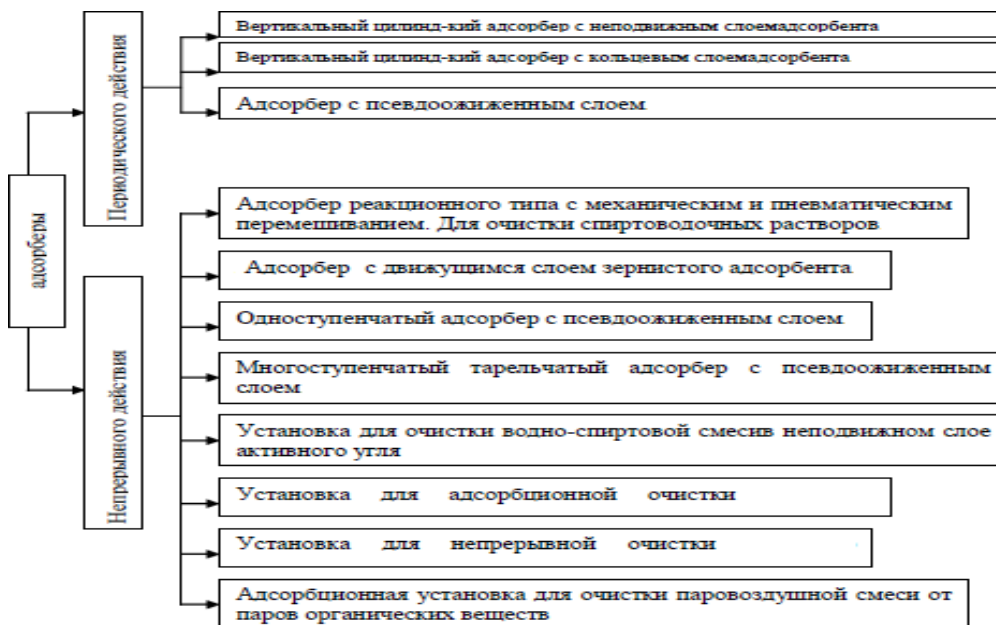
Процессы адсорбции не отличаются по механизму от других процессов массопередачи в системе с твердой фазой.

Время, за которое слой адсорбента высотой h насыщается адсорбтивом и теряет возможность адсорбировать, называется временем защитного действия слоя.

Для разграничения адсорбции, протекающей во внешнEDIFFУЗИОННОЙ и внутрEDIFFУЗИОННОЙ областях, используют диффузионный критерий Био. Если $Bi_D \geq 30$, то скорость процесса определяется скоростью массопроводности внутри зерна адсорбента. При $Bi_D \leq 0,1$ скорость адсорбции зависит от скорости массоотдачи в газовой или жидкой фазе.

Различают адсорберы периодического и непрерывного действия. Адсорберы периодического действия делятся на адсорберы с плотным и кипящим слоем; аппараты непрерывного действия – на аппараты с движущимся слоем адсорбента и с кипящим слоем.

Расчет адсорберов периодического действия заключается в определении высоты слоя адсорбента. При расчете непрерывно действующих адсорберов определяют высоту колонны, рабочий объем, диаметр и число тарелок. Классификация адсорберов



31. Сорбционные методы выделения продуктов биосинтеза и их модификации (ионный обмен, адсорбция микропористыми сорбентами, хроматография, биосорбция).

Ответ:

Сорбционные методы представляют собой выделение растворенного в жидкой фазе компонента с помощью твердофазного сорбента. В какой-то мере этот процесс является по смыслу противоположным экстрагированию, где, наоборот, полезный компонент локализован в твердой фазе, а в процессе экстракции переходит в жидкую (экстрагент). При сорбции же растворенное вещество из раствора переводится в твердую фазу (сорбент). На этом, однако, сорбционный метод не заканчивается. Далее следует отделение твердой фазы от рафината - раствора, из которого извлечен растворенный компонент, и последующая десорбция этого компонента из сорбента в новую жидкость, отличающуюся от исходного раствора какими-то свойствами или просто более чистой, не содержащую посторонних примесей, которые есть в исходном растворе. Эта вторая операция (десорбция) уже точно практически ничем не отличается от экстрагирования, разве что при экстрагировании твердой фазой является сама биомасса, а при десорбции - промежуточный рабочий агент, специально вносимый в жидкую фазу извне. Твердая фаза - «временное пристанище» растворенного вещества.

Известны четыре различные модификации сорбционных методов:

- ионный обмен;
- адсорбция микропористыми сорбентами;
- хроматография;
- биосорбция.



Во всех случаях подразумевается, что сорбционный метод включает в себя как собственно сорбцию, так и десорбцию, и рассматривается метод выделения как совокупность этих двух процессов.

Ионный обмен

Ионообменный метод основан на способности специальных сорбентов - ионообменных смол - сорбировать биологически активные вещества, имеющие ионную природу (т. е. являющиеся кислотой, основанием или солью), благодаря эквивалентному обмену между ионами вещества, находящегося в растворе, и ионами сорбента. Ионообменные смолы, или иониты, представляют собой синтетические высокомолекулярные органические вещества, практически нерастворимые в воде. Они содержат обменные ионы, один из которых связан с твердым носителем и называется фиксированным, или анкерным ионом. С ним электростатически связан противоположно заряженный ион, называемый подвижным ионом, или противоионом. По этому подвижному иону ионообменные смолы подразделяются на катионообменники и анионообменники:

Тв. - H^+ (катионообменник);

Тв.. – OH^- или Тв. – Cl^- (анионообменник).

Кроме того, существуют и амфотерные иониты, которые содержат и катионо- и анионообменные группы, обладая, таким образом, двойственными свойствами.

Процесс ионного обмена имеет обратимый характер. Высвобождающийся противоион диффундирует далее через поры ионита в жидкость. Движение ионов растворенного вещества внутрь гранулы ионита и, наоборот, вывод противоионов в окружающую жидкость происходят за счет диффузии. Как и в любом массообменном процессе, в какой-то момент наступает равновесие между скоростями сорбции и десорбции.

Для твердой фазы в условиях сорбции существует определенная особенность. Количество активных центров ионообменника ограничено (числом анкерных ионов), в связи с этим максимальное количество ионов растворенного вещества, связанных ионитом (т. е. сорбированных), не может быть больше определенного предела. Поэтому связь между равновесными концентрациями растворенного вещества в жидкости и в ионообменной смоле определяется соотношением, называемым изотермой Ленгмюра:

$$C_T^* = \frac{KC_{Ж}^*}{a + C_{Ж}^*}$$

где CT^* и $CЖ^*$ - соответственно равновесные концентрации растворенного иона в твердой фазе (сорбента) и в жидкости (рафинате); K и a - константы, зависящие от свойств продукта и от свойств ионита соответственно.

Основной характеристикой обменной способности ионита является полная обменная емкость (ПОЕ). Она определяется как число обменных групп в мг-эквивалентах, приходящиеся на 1 г ионита. Практически это и есть K , выраженное в мг-эквивалентах растворенного вещества:

$$K = C_{T\max}^*$$



Не надо забывать, что связь, определяемая изотермой Ленгмюра, характеризует условия равновесия. В реальном же процессе, пока идет насыщение ионообменной смолы ионами растворенного вещества, текущая концентрация CT в сорбенте отличается от равновесной. Движущей силой процесса массопередачи как раз и является разность между равновесной концентрацией CT^* (определяемой по изотерме Ленгмюра или по коэффициенту распределения, если концентрация находится в зоне малых значений) и текущей концентрацией CT :

$$\frac{dC_T}{dt} = KV (C_T^* - C_T)$$

Где KV - объемный коэффициент массоотдачи между жидкостью и ионитом, учитывающий, в частности, и концентрацию гранул ионита в системе, и поверхность массообмена в каждой грануле, и истинный коэффициент массоотдачи растворенного вещества; CT^* - концентрация, равновесная с той, которая есть в жидкости, Сж.

В зависимости от знака выражения в скобках ($CT^* - CT$) будет происходить либо процесс сорбции (концентрация CT во времени будет возрастать), либо процесс десорбции (концентрация CT падает).

На практике при десорбции несколько изменяется рабочая жидкость, для нее может быть своя изотерма Ленгмюра и свой коэффициент распределения. Сорбция же обычно осуществляется до тех пор, пока вся обменная емкость ионита не будет заполнена (т.е. пока концентрация CT^* не достигнет величины K). Кстати, в процессах ионообмена процесс десорбции имеет специфическое название элюция, а десорбирующая жидкость называется элюентом.

Как на практике осуществляется процесс ионного обмена?

Наиболее прост статический способ. В аппарат с мешалкой загружают ионит и обрабатываемый раствор. Затем при перемешивании ионит суспендируется и дается время, достаточное для установления

равновесия. Далее раствор сливают или фильтруют (если гранулы ионита слишком мелкие). Раствор обычно направляют в канализацию (так как он обеднен по целевому продукту) или повторно используют на стадии ферментации. Ионит же возвращают в аппарат, заливают элюентом, т.е. водным раствором, часто с измененным значением pH или с добавлением противоиона (иона хлора). Происходит обратный процесс (десорбция, элюция) – противоион сорбируется в ионите, а сорбированное ранее вещество переходит в элюент. При этом продукт освобождается от примесей, которые не сорбируются и уходят с исходным раствором. Однократная сорбция-десорбция имеет недостаток: при этом сорбент не полностью поглощает растворенное вещество и не полностью переходит в элюент. Поэтому процесс иногда повторяют. Чаще же в промышленности используют динамический способ. В этом способе ионит загружается в аппарат и обрабатываемый раствор непрерывно протекает через слой ионита. Назвать этот процесс полностью непрерывным нельзя, так как ионит загружается и выгружается



периодически, поэтому процесс нестационарный. Аппарат с загруженным ионитом называется ионитовым фильтром, или ионообменной колонной. Возможны два варианта таких «фильтров»: закрытый (напорный) и открытый (безнапорный).

Закрытый фильтр представляет собой колонну, заполненную гранулами ионита. Жидкость подается под напором сверху. У днища внутри аппарата устанавливается колпачковый фильтр с прорезями 0,2 - 0,3 мм, через которые проходит жидкость, но задерживаются гранулы ионита. Недостатком такой простой конструкции является неподвижность слоя ионитов, который сжат давлением нагнетаемой жидкости. Происходит слипание частиц ионита, образование каналов и застойных зон. В результате довольно большая часть ионита не участвует в процессе ионообмена, возможно также инфицирование застойных участков посторонней микрофлорой.

В открытый фильтр раствор подается снизу через специальный слой зернистого материала. Скорость потока в аппарате выбирается таким образом, чтобы слой ионита находился во взвешенном состоянии. Чтобы при этом не происходило выноса гранул ионита, верхняя часть колонны выполнена расширенной. В этой части колонны скорость потока снижается, что способствует оседанию гранул. Вывод отработанного раствора из колонны снабжен системой улавливания гранул (за счет изменения направления потока). В обоих случаях после насыщения слоя ионита (определяемого по повышению концентрации растворенного вещества в отработанном растворе) раствор переключается на другую колонну, затем на третью, четвертую и т. д. Обычно существует батарея ионообменных колонн, работающих в различных режимах. На отключенной колонне сначала проводят вытеснение рабочего раствора обессоленной водой, затем промывают ионит раствором антисептика. Далее осуществляется процесс извлечения полезного вещества из сорбента

- элюция. Элюат (чистый раствор, содержащий десорбированное вещество) поступает на дальнейшие стадии концентрирования. Элюция прекращается после снижения концентрации в выходном потоке до предельного уровня. После элюции проводится процесс регенерации ионита. Для этого через слой ионита пропускают раствор противоиона, который сорбируется на ионите, занимая там свое «законное место».

Поскольку в рассмотренной схеме слой ионита остается неподвижным, приходится иметь батареи аппаратов, постепенно переключая их на тот или иной режим работы. Обычно количество элюата меньше, чем количество исходного раствора, что позволяет наряду с очисткой вещества от примесей проводить частичное концентрирование раствора. Ионообменным способом выделяют многие антибиотики, аминокислоты, ферменты. Несколько слов о самих ионообменных смолах. Есть много типов ионитов, имеющих размеры гранул от 300 мкм до 2 мм и более. При этом очень важен их равномерный дисперсный состав (чтобы не было



уноса). Иногда делают смолы с непористым внутренним ядром, внешний слой смолы занимает лишь 30 - 50 мкм, что способствует более быстрой сорбции - десорбции. В качестве матриц в смолах используют:

- полистирол (поливинилбензол);
- полиакрилат, полиметакрилат;
- полиамин;
- целлюлозу, декстран и др.

В качестве функциональных групп применяются: карбоксильные, сульфоновые, первичные - четвертичные аминогруппы.

Преимущества метода:

- простота аппаратного оформления;
- многократное использование ионообменных смол;
- возможность полной механизации и автоматизации процесса;
- протекание процесса в водных растворах, без использования вредных органических растворителей.

Недостатки метода:

- нельзя использовать для извлечения неполярных веществ;
- селективность метода не всегда достаточна для разделения смеси веществ;
- наличие твердой фазы затрудняет возможность использования противотока для создания равномерной движущей силы процесса;
- довольно велико гидравлическое сопротивление колонн при малых размерах гранул ионита.

Адсорбция микропористыми сорбентами

Процесс адсорбции, по существу, ничем не отличается от ионного обмена, с той лишь разницей, что на микропористых сорбентах обычно сорбируются не ионы, а целиком молекулы, чаще неполярных веществ. Соответственно в качестве сорбентов выступают не ионообменные смолы, а материалы без функциональных групп или микропористые адсорбционные смолы. Связывание субстанций на этих сорбентах происходит не по стехиометрическим соотношениям, как в ионитах, например, а под воздействием сил Ван-дер-Ваальса.

Важнейшими характеристиками этих сорбентов являются:

- объем пор;
- удельная поверхность;
- средний диаметр пор;
- распределение пор по размерам.

Наиболее типичным и первым из такого рода сорбентов является активный уголь. Сейчас выпускаются полимерные сорбенты, которые по качеству превосходят активный уголь.

Химический состав этих сорбентов:

- неполярные - стирол;



- *полуполярные - акриловые эфиры;*
- *полярные - сульфоксиды, амиды. Физические свойства:*
- *внутренняя поверхность 20 - 800 м²/г (для сравнения: у активного угля - около 60 м²/г);*
- *объем пор 0,5 - 1,2 мл/г;*
- *средний диаметр пор 5 - 130 нм (у активного угля - около 13 нм). Практически любое вещество, которое можно экстрагировать органическим растворителем, можно связать и специально подобранным сорбентом.*

Особенность адсорбентов - их емкость увеличивается при возрастании концентрации солей в среде (для ионообменников, наоборот, уменьшается). В остальном сорбция микропористыми сорбентами протекает аналогично ионному обмену (имеется изотерма адсорбции, динамика сорбции подчиняется тем же закономерностям, что и ионный обмен). Соответственно аппаратура и технологические схемы для этого процесса также аналогичны используемым для ионного обмена.

Хроматография

Сорбция в двух изложенных ранее модификациях – ионный обмен и адсорбция микропористыми сорбентами – предполагает высокую селективность сорбентов или отсутствие в обрабатываемом растворе веществ, имеющих близкие характеристики по селективности. Между тем в биологических растворах часто оказывается смесь близких по природе веществ, имеющих в то же время различную биологическую активность.

Сорбенты при этом адсорбируют всю эту смесь, да и при десорбции в конечном счете все эти вещества выделяются вместе, хотя и очищенными от других загрязняющих веществ. Возникает задача разделения этих близких по природе веществ. Эту задачу выполняет процесс хроматографии. Хроматография известна больше в измерительной технике, где с ее помощью решают задачу количественного определения вещества, находящегося в сложной смеси близких по составу веществ (например, углеводороды нефти или углеводы в сложных природных смесях сахаров). Между тем в технологии на тех же принципах основан процесс, который более точно называют препаративная хроматография. По существу, это специфический способ десорбции сорбированной любым способом смеси веществ, чаще всего на микропористых сорбентах. Как уже было сказано, при обычной схеме десорбция не очень-то различает разные вещества близкого состава и молекулярной массы, которые при десорбции выделяются вместе. Хроматография позволяет это сделать.

При хроматографии поток элюента, выходящий из слоя сорбента, не собирается весь в одну емкость, а фракционируется по времени пропускания элюента через колонку. Дело в том, что десорбция разных по молекулярной массе или, точнее, разных по сродству к сорбенту веществ протекает с разной скоростью. Поэтому сначала в поток перейдут вещества с меньшей молекулярной массой и менее связанные с сорбентом, а затем все более и более трудно десорбируемые. Если измерять концентрацию вещества в потоке



элюента во времени, то можно наблюдать ряд пиков различной высоты, разделенных участками низкой концентрации.

В измерительных приборах (хроматографах) высота и площадь пиков являются основой для определения концентрации вещества. В препаративной хроматографии поток элюента, собираемый за различные промежутки времени (t_1 , t_2 , ... t_i), является основой для разделения смеси веществ на более однородные по составу растворы. Так можно разделять разные белки, разные аминокислоты или разные сахара. За основу разделения берется время выхода.

Преимущества хроматографии:

- высокая селективность;
- возможность разделения веществ с близкими свойствами;
- мягкие условия проведения процесса. Недостатки:
- более низкая скорость десорбции, необходимая для улавливания разных «пиков» выделения веществ;
- обычно более разбавленные растворы;
- более сложное аппаратное оформление процесса. Биосорбция

Биосорбцией обычно называют такие процессы, в которых в качестве сорбента используются сами микроорганизмы, клетки или их компоненты. Наиболее известно применение биосорбентов для извлечения металлов из растворов. Микроорганизмы обладают биохимическими механизмами сорбции металлов, позволяющими достигать концентраций металлов, в тысячи и даже в миллионы раз больших по сравнению с их концентрацией в жидкости, из которой металл извлекается. Некоторые из таких сорбируемых металлов входят в состав ферментов и нужны клеткам. Поэтому сорбция железа, магния, цинка, меди, молибдена - нормальная физиологическая функция клеток. Но эти же пути связывания клетки используют и для совсем чужеродных металлов, таких, как серебро, ртуть, уран, которые клетке для нормального развития не нужны. Но клетка сорбирует эти металлы как бы «по привычке».

Механизмы связывания металлов

Металлы могут связываться как растущими, так и нерастущими и даже мертвыми или разрушенными клетками. Сначала металл связывается поверхностью клетки, а затем медленно проникает внутрь. Бактерии связывают металлы лучше, чем дрожжи. Известно, например, накопление урана или свинца клетками бактерий рода *Micrococcus* sp. Кадмий, никель, кобальт, рубидий сорбируются клетками родов *Bacillus* sp. и *Escherichia coli*. Клетки бактерий рода *Pseudomonas* sp. использовали даже для извлечения урана из морской воды, где он содержится в очень низких концентрациях. Описано также выделение золота, серебра, других драгоценных металлов платиновой группы с помощью биосорбции.

Общая схема биосорбции металлов



В раствор с металлами добавляется суспензия микроорганизмов. Происходит поверхностное связывание металлов, образование комплекса «металл – микроорганизмы». Биомасса с сорбированным металлом отделяется от суспензии одним из методов разделения. Выделение металла осуществляется либо десорбцией в мягких условиях, после чего освобожденная от металла биомасса вновь отделяется от раствора и может быть многократно использована в процессах биосорбции, либо деструктурированием биомассы путем добавления к ней крепкой кислоты, щелочи или даже в пирометаллургическом процессе. Такое жесткое обращение с биомассой возможно в случаях, когда ее получение дешево или сама она является отходом какого-либо производства. В некоторых технологиях в качестве биосорбента используют дезинтегрированные клетки микроорганизмов, часто высушенные.

Иммуносорбция

Методы биосорбции, относящиеся к металлам, не слишком специфичны. При выделении многих белков, наоборот, часто используют очень специфичные высокоселективные методы. Они основаны на связывании антител с определенным участком молекулы изучаемого белка. Такой метод позволяет «распознавать» в смеси белков только один из них, к которому выработано иммунной системой антитело. Выделенные из крови иммунизированных животных антитела (а среди них могут быть и очень специфичные моноклональные антитела, которые могут определить среди белков, например, белки родственников) иммобилизуются на каком-либо носителе и становятся таким образом иммуносорбентами, используемыми для высокоселективного выделения веществ. На основе иммуносорбентов разрабатывают диагностические методы, которые позволяют не только распознавать различные инфекционные заболевания, в том числе и вирусные, но также и наследственные заболевания, опухоли и многое другое.

Аффинная хроматография — это разновидность адсорбционной хроматографии. Основной особенностью аффинной хроматографии является наличие комплементарности между иммобилизованным на матрице лигандом и вторым партнером пары взаимодействующих компонентов, который извлекается из смеси с другими, не комплементарными лиганду веществами. Использование высокоизбирательного взаимодействия позволяет за одну стадию достичь очень высокой степени очистки искомого вещества. Аффинное взаимодействие является нековалентным и может быть ослаблено путем изменения pH, ионной силы раствора, введения в раствор веществ, препятствующих образованию комплементарных связей. Важными преимуществами аффинной хроматографии являются: высокая избирательность, эффект концентрирования искомого вещества на аффинной матрице и освобождение от гидролитических ферментов.

Аффинная очистка позволяет сохранить нативную структуру вещества.

Чаще всего лиганд иммобилизуют на матрице ковалентно. Для закрепления лиганда матрица должна быть предварительно активирована, то есть на поверхности частиц



носителя должны быть созданы реакционноспособные группы. Наиболее распространенный способ активации — создание на поверхности матрицы электрофильных групп, способных к взаимодействию с нуклеофильными группами лиганда. При этом процесс иммобилизации лиганда сводится к его инкубации с активированной матрицей. Следует отметить, что скорость протекания реакции сильно зависит от pH среды. В иммунохимии применяют как иммобилизацию антигена на матрице, так и присоединение к матрице антител. Разновидность аффинной хроматографии, в которой в качестве иммобилизованного лиганда используются антитела, носит название иммуноаффинной хроматографии.

32. Ионообменная хроматография: варианты практического использования, принцип, особенности, контроль качества работы колонки.

Ответ:

В основе ионообменной хроматографии лежит обратимый стехиометрический обмен ионов, содержащихся в хроматографируемом растворе, на ионы веществ, называемых ионитами или ионообменниками. Иониты могут быть органические и неорганические, природные и синтетические. По знаку обменивающихся ионов различают катиониты (для обмена катионов) и аниониты (для обмена анионов). К природным ионитам относятся алюмосиликаты, некоторые сорта каменных углей, мягкие и твердые угли даже без предварительной обработки. В аналитической практике широко используют синтетические иониты. Ионообменники получают реакциями поликонденсации либо полимеризации, линейные цепи полимеров разветвлены и связаны друг с другом «мостиками», например, молекулами дивинилбензола; в состав ионитов входят различные функциональные (ионогенные) группы, которые и определяют наиболее характерные свойства ионитов. Иониты нерастворимы в воде, кислотах, щелочах и во многих органических растворителях, но способны набухать в воде за счет гидрофильных ионогенных групп. Органические катиониты содержат кислотные функциональные группы: $-\text{SO}_3^-$, $-\text{PO}_3^-$, $-\text{COO}^-$, $-\text{OH}^-$. Органические аниониты содержат группы основного характера: $-\text{NH}_2^+$, $=\text{NH}^+$, $\equiv\text{N}^+$, $-\text{N}(\text{CH}_3)_3^+$. Катиониты представляют собой полиэлектролиты, диссоциирующие с образованием высокомолекулярного аниона (например, RSO_3^-) и подвижного катиона (например, H^+ - иона), легко обменивающегося на другие катионы. Аниониты диссоциируют на высокомолекулярный катион (например, RNH^+) и подвижный анион (например, OH^-), способный обмениваться на другие анионы (R – высокомолекулярный углеводородный радикал ионообменной смолы).

Реакции ионного обмена обратимы и в первом приближении подчиняются закону действующих масс. Важной характеристикой ионита является его обменная емкость.

Обменная емкость ионитов

Обменная емкость (ОЕ) – количественная мера способности ионита поглощать противоионы. Численно обменную емкость выражают количеством поглощенных



миллимоль эквивалентов ионов на 1 г сухой смолы в H^+ -форме для катионита и Cl^- – в форме для анионита. Определение емкости можно отнести и к единице объема набухшего слоя ионита. Обменная емкость, полученная в статических условиях, когда навеску ионита помещают в раствор насыщающего иона определенной концентрации и выдерживают при встряхивании до полного насыщения ионита, называется статической (СОЕ). Величина ее отличается от величины обменной емкости, полученной в динамических условиях при пропускании насыщающего раствора через колонку с ионитом.

Динамическая обменная емкость характеризуется двумя показателями: динамической обменной емкостью до проскока (ДОЕ) и полной динамической емкостью (ПДОЕ). ДОЕ представляет собой емкость ионита, определяемую по появлению данного иона в вытекающем из колонки растворе. ПДОЕ определяется по полному прекращению извлечения данного иона из раствора. ДОЕ определяется площадью прямоугольника, основанием которого является объем раствора, вытекающего из колонки до наступления проскока иона, а высотой – исходная концентрация обмениваемого иона. ПДОЕ выражается площадью над выходной хроматографической кривой. ДОЕ всегда меньше, чем полная динамическая обменная емкость, и зависит от ряда факторов: от типа ионита, состава раствора, размера зерен ионита и скорости протекания раствора.

Классификация ионитов

От вида функциональных групп, входящих в состав ионита, зависит, насколько сильно выражены кислотные или основные его свойства.

В зависимости от этого различают четыре группы ионитов.

1. Сильнокислотные катиониты имеют в качестве функциональных групп сульфогруппу $-SO_3^-$ и фосфорную группу $-PO_3^{2-}$. Они используются в кислых, нейтральных и щелочных средах. Это сульфокислотные катиониты полистирольного типа марок КУ-2, КУ-23, СДВ, СБС. К фосфорнокислым относятся катиониты марок КФ-2, КФ-11. Катиониты полистирольного типа выпускаются в виде сферических гранул и имеют либо янтарную, либо светло-желтую окраску. Катиониты фенольного типа, например, КУ-1, окрашены в черный цвет, их частицы имеют неправильную форму. Такие катиониты бифункциональны, т.е. наряду с группой $-SO_3^-$ имеют в своем составе группу $-OH^-$. Преимущество полистирольных катионитов – их монофункциональность, высокая обменная емкость, высокая термическая устойчивость.

2. Слабокислотные катиониты имеют в качестве функциональных групп карбоксильные группы $-COO^-$, $-OH^-$. Это катиониты марок КБ-1, КБ-4, КФУ-1. Катиониты с карбоксильными группами окрашены в белый или светло-зеленый цвет. Важным свойством подобных катионитов является их высокое сродство к иону водорода. Даже небольшого количества разбавленной соляной кислоты достаточно для полной регенерации катионита. Слабокислотные катиониты работают в щелочных и нейтральных средах.



3. Сильноосновные (высокоосновные) аниониты имеют в качестве функциональных групп четвертичные аммониевые группы. Это аниониты 11-ти марок АВ-16, АВ-17, АВ-18, АВ-20. Они могут применяться для хроматографирования в кислых, щелочных и нейтральных средах. Сильноосновные аниониты имеют желтую или светло-желтую окраску. Они часто используются для разделения большинства ионов металлов. Ион щелочных, щелочноземельных, редкоземельных элементов, алюминия, никеля, меди и др. не сорбируются анионитами при любой концентрации соляной кислоты. Остальные ионы металлов в пределах концентрации HCl от 0,1 до 12 моль/л сорбируются анионитами в различной степени, т.к. образуют анионные хлоркомплексы, имеющие сильно отличающиеся константностой-кости.

4. Слабоосновные (низкоосновные) аниониты в качестве функциональных групп имеют аминогруппы разной степени замещения: $-\text{NH}_2$, $=\text{NH}^+$, $\equiv\text{N}^+$. Это аниониты марок АН-2Ф, АН-1, АН-23 и др. Они работают в кислых и нейтральных средах. Анионит ЭДЭ-10П содержит несколько активных аминогрупп вторичного, третичного и четвертичного аммониевых оснований. Поэтому он обладает и слабоосновными, и в некоторой степени сильноосновными свойствами.

Практическое применение ионообменной хроматографии

Методы ионообменной хроматографии используют преимущественно для разделения ионов. Простейшая методика разделения заключается в поглощении смеси компонентов и последовательном элюировании каждого компонента подходящим растворителем. Иониты используют также в водоподготовке (умягчение воды, опреснение морской воды); в гидрометаллургии и гальванотехнике (селективное извлечение ценных металлов из производственных растворов и сточных вод; в пищевой и гидролизной промышленности (очистка сахаросодержащих растворов, осветление плодово-ягодных соков и т.д.); в медицине и фармацевтической промышленности (очистка лекарственных препаратов, антибиотиков). Рассмотренные области применения ионообменных смол не исчерпывают всего многообразия, однако они показывают широкие возможности, которые открывают использование ионитов в аналитической химии и технологии.

Контроль качества хроматографической колонки Периодичность контроля качества колонки:

- перед первым использованием свежееупакованной колонки;
- перед использованием колонки после консервации и хранения;
- при снижении качества аналитического сигнала (отклика) по одному или нескольким детекторам хроматографической системы.

Тестовые растворы

Натрия хлорида водный раствор 0,8 М (тестируемый образец с детекцией отклика по датчику кондуктометра, допустимо) либо 1 % водный раствор ацетона (тестируемый образец с детекцией отклика по УФ-датчику, предпочтительно).



Приготовить натрия хлорида водный раствор 0,4 М (подвижная фаза для элюции натрия хлорида) либо использовать воду очищенную (подвижная фаза для элюции ацетона).

Эффективность колонки оценивают, в зависимости от конкретных практических задач, по следующим показателям:

- *число теоретических тарелок;*
- *приведенное число теоретических тарелок;*
- *высота, эквивалентная теоретической тарелке (ВЭТТ);*
- *приведенная высота теоретической тарелки.*

Число теоретических тарелок вычисляют по формуле: $N = 5,545 \times (VR / W_{0,5})^2 = 5,545 \times (tR / W_{0,5})^2$,

где:

N - число теоретических тарелок;

W_{0,5} – полуширина пика или ширина пика на полувысоте или ширина пика, измеренная на половине максимальной высоты пика, мл или мин (единицы измерения VR или tR и W_{0,5} при расчетах должны быть одинаковыми);

VR - удерживаемый объем аналита, мл; tR - время удерживания аналита, мин.

В норме экспериментально определенное число теоретических тарелок $N = 10$.

Чем больше величина N, тем меньше расширение первоначально узкой концентрационной зоны по мере прохождения ее через колонку, а значит, уже пик на выходе из колонки.

Эффективность колонки тем выше, чем уже ширина пика при том же времени удерживания.

Приведенное число теоретических тарелок рассчитывают по формуле: $N' = 100 \times N / L$, где:

N' - приведенное число теоретических тарелок, определяют как отношение числа реально полученных теоретических тарелок на колонке данной длины к условной колонке длиной 1 м, штук/см;

N - число теоретических тарелок; L - длина колонки, см.

Высоту, эквивалентную теоретической тарелке, рассчитывают по формуле:

$$H = L / N,$$

где:

H - высота, эквивалентная теоретической тарелке, мм;

L – длина сорбционного слоя (высота столбика сорбента), мм; N - число теоретических тарелок.

В норме экспериментально определенная высота, эквивалентная теоретической тарелке, $H = 0,1-0,3$ мм. Величина характеризует степень размывания вещества по колонке.

Приведенная высота теоретической тарелки - это безразмерная величина, которая позволяет сравнивать эффективность столбцов сорбента независимо от длины колонки и диаметра частиц среды и рассчитывается по формуле:



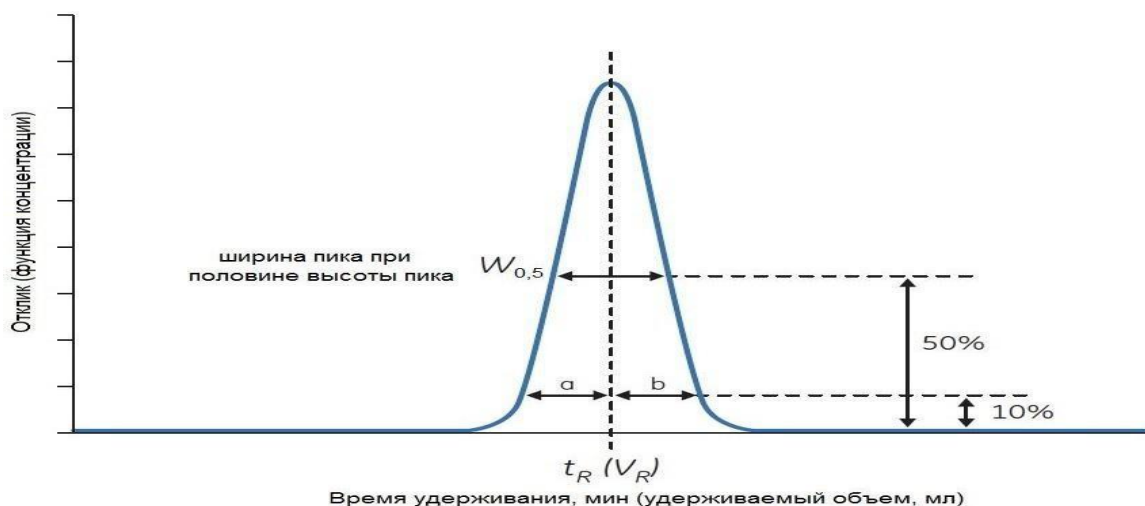
$h' = H / d50v$, где:

h' - приведенная высота теоретической тарелки;

H - высота, эквивалентная теоретической тарелке (НЕТР), см; $d50v$ - средний диаметр частиц сорбента, см.

В норме экспериментально определенная приведенная высота теоретической тарелки $h' \leq 3$. Соответствие неравенству свидетельствует о том, что сорбент упакован качественно, оптимизированы: высота столбца, настройки системы и условия испытаний. Эффективность колонки может использоваться в качестве референсной величины исключительно при сопоставимых (эквивалентных) условиях проведения хроматографии.

Симметрию пика оценивают по фактору асимметрии, который рассчитывается на основании измерения ширины восходящей и нисходящей частей пика аналита на уровне 10 % от высоты пика (рисунок):



Основные характеристики пика, используемые при оценке эффективности колонки и симметрии пика

Фактор асимметрии пика вычисляют по формуле:

$As = b / a$, где:

As - фактор асимметрии, безразмерная величина;

b - ширина нисходящей части пика аналита на уровне 10 % от высоты пика, мин или мл;

a - ширина восходящей части пика аналита на уровне 10 % от высоты пика, мин или мл;

В норме симметричность пика считается приемлемой, если выполняться условия неравенства: $0,8 \leq As \leq 1,8$ (1,5 - для количественных тестов по ГФ 13). Для идеально симметричного пика фактор асимметрии $As = 1$.

Широкая восходящая часть пика ($As < 1$, растянутый передний фронт) свидетельствует о чрезмерно плотной упаковке сорбента, широкая нисходящая часть пика ($As > 1$, растянутый задний фронт, «хвост») - о слишком рыхлой упаковке сорбента внутри



колонки. Для более равномерного распределения частиц сорбента в таких случаях следует прогнать через колонку стартовый буфер в количестве не менее двух объемов колонки под контролем рН элюента.

Причины асимметрии пика:

- неравномерным распределением частиц сорбента в колонке;
- наличием пузырей воздуха в системе или колонке;
- некорректным током жидкости между частицами сорбента внутри колонки;
- некорректным током жидкости по системе;
- дефектами внутренних поверхностей колонки;
- сочетанием этих факторов.

Качество колонки считается приемлемым, если выполняются четыре критерия приемлемости для эффективности колонки и пика симметрии. В противном случае колонку следует упаковать сорбентом повторно. Качественно упакованная колонка гарантирует, что пики компонентов не будут излишне расширены по мере прохождения образца по колонне (оптимальное разрешение).

33. Пенообразование и пеногашение в биотехнологии.

Ответ:

Процесс ферментации протекает с участием трех фаз — газа, жидкости и твердого вещества. Присутствие в жидкости микроорганизмов, а также различных растворенных веществ (компонентов питания и продуктов метаболизма) и их дисперсность заметно влияют на образование и характер пены, на воспроизводимость результатов экспериментов по пенообразованию, а также культивированию микроорганизмов. Физико-химические свойства культуральной жидкости оказывают решающее влияние на поверхностные явления при образовании пены. Важную роль играет при этом капиллярное давление, косвенно определяя устойчивость пены. Под влиянием капиллярного давления происходит всасывание жидкости из стенок пузырьков в совместный участок нескольких пузырьков (область плато). Степень всасывания в мелкопузырьковой пене будет меньше, чем в крупнопузырьковой, а значит, стабильность пены при увеличении диаметра пузырька уменьшается. Естественно, существуют условия, когда всасывание жидкости или дренаж из прослойки уравнивается другими факторами, действующими на пузырьки, например активностью вспенивателя, его ориентацией и др. Устойчивость пузырьков пены в чистых жидкостях равна нулю или составляет доли секунды вследствие энергетической неустойчивости и малой прочности окружающей пузырьки жидкой пленки. В культуральных жидкостях всегда образуются сравнительно прочные слои пены из-за наличия белков кукурузного экстракта, сапонинов мелассы и т.д.

Многокомпонентность жидкой питательной среды, содержащей вещества с различной поверхностной активностью, обуславливает образование адсорбционных слоев и пленок вокруг поверхностей раздела фаз. Наличие в системе подвижной газовой фазы и



поверхностных пленок на разделе газ— жидкость вызывает явление пенообразования. Зависимости между адсорбцией и поверхностной активностью выражают классические уравнения Гибса, Ленгмюра и др.

Для определения свойств пен обычно используют три метода: взбалтывание определенного количества жидкости в закрытом сосуде; продувание воздуха через изучаемую жидкость; продувание воздуха с одновременным механическим перемешиванием жидкости.

Коэффициент заполнения ферментёров составляет 0,5—0,6. Свободное пространство используется для компенсации повышения уровня среды за счет увеличения газосодержания при аэрации, обычно не превышающего 10% объема, и для регулирования уровня пены. Практически на заводах уровень пены в аппаратах постепенно возрастает от нуля до максимально допустимого значения. По достижении максимального уровня включается система пеногашения. При использовании жидкого пеногасителя уровень пены снижается обычно до нуля и описанный выше процесс повторяется снова.

Пена обеспечивает сравнительно хорошую поверхность фазового контакта газ— жидкость и интенсивное растворение кислорода воздуха. Например, при работе сульфитным методом в зависимости от конструкции аппарата и высоты пенного слоя коэффициент массопередачи газ— жидкость повышается в несколько раз. Пена создает хорошие условия для культивирования дрожжей.

Поверхностные явления и поведение клеточных популяций в пенных пленках толщиной иногда в несколько молекул недостаточно изучены. Однако установлено, что при работе с воздухом обычного состава и проведении культивирования в тонких пленках можно достичь нормальных параметров процесса.

Вместе с тем в литературе встречаются сообщения о том, что пена ухудшает процесс (образует застой). При выращивании дрожжей *Rhodotorula gracilis* определение коэффициента массопередачи

газ-жидкость и реального коэффициента массообмена также показало, что высокий неподвижный слой пены снижает удельную скорость роста, выход биомассы и пр.

Общеизвестен факт снижения коэффициента массопередачи газ-жидкость в большинстве случаев после добавления к реакционной среде химического пеногасителя. Пенообразование связано с флоатацией микроорганизмов, что является дополнительным фактором негомогенности системы.

Показано, что при выращивании дрожжей в пене концентрация CO₂ в пузырьках может превысить допустимую.

Для обеспечения интенсивного протекания процесса биосинтеза желательно непрерывное возобновление поверхности фазового контакта. Это значит, что необходимо принудительное разрушение пены механическими или иными средствами.

Наконец, часто меняющийся уровень пены в ферментёрах, прилипание ее к внутренним поверхностям и концентрация сухих веществ среды в этих местах вследствие высыхания



пены способствуют разложению органической массы. Это затрудняет ведение процесса в стерильных условиях — с монокультурой.

На основе изложенного можно наметить оптимальные варианты использования способности ферментационных сред к образованию пены и принцип пенорегуляции в процессах микробиологического синтеза.

- 1. Идеальным ферментёром мог бы быть аппарат, в котором уровень пены, ее дисперсность и степень турбулизации не менялись бы в течение всего цикла культивирования популяции. При этом аппарат должен быть максимально заполненным, дисперсность и турбулизация системы максимальная (оптимальная для данного процесса), содержимое аппарата гомогенное как по газонасыщению, так и по компонентам питания, метаболитам и концентрации микроорганизмов.
- 2. Для создания условий, указанных в п. 1, необходимо разработать энергетически рентабельный узел пеногашения, обеспечивающий надежное выделение отработанного аэрирующего газа из системы без потерь ферментационной среды. Это устройство должно гарантировать стерильность процесса микробного синтеза.
- 3. Практика пеногашения на предприятиях пока еще не совершенна. Ферментёры зачастую не имеют специальных устройств пеногашения, а жидкий пеногаситель заливают вручную. Очевидно, в пределах разумных энергетических расходов целесообразно ограничить уровень пены без применения химических средств, которые резко меняют условия массопередачи. При их использовании желательно использовать синтетические, специально подобранные для данного процесса композиции, применять эмульсии, для экономии электроэнергии максимально использовать «пассивные» средства — пеногашение в циклонах, лабиринтах и т.д. Наконец, особое внимание следует обратить на применение автоматических средств управления системами пеногашения.

Таким образом, идеальная система пенорегуляции должна быть компактна и установлена внутри или снаружи (выносной пеногаситель) аппарата. Пена сперва гасится в центробежном поле (механический ротор и др.). Окончательное гашение происходит после применения импульсных доз ПАВ (жидкость распыляется в потоке пены или подается на рабочий орган механического пеногасителя для снижения инерции). Разжиженная пена (жидкость) возвращается в нижние слои ферментёра. Своевременное последовательное включение описанных систем регуляции осуществляется при помощи специальных приборов

Для регулирования уровня пены при культивировании микроорганизмов и предотвращения ее выброса из ферментёра используют различные методы. Их можно разделить на пять групп.

- 1. Удаление из культуральной жидкости пенообразователей и воздействие на пену химическими и физико-химическими средствами: использование питательных сред с пониженными пенообразующими свойствами; добавление веществ, связывающих



пенообразователи в поверхностно-неактивные комплексы; добавление ПАВ, уменьшающих прочность пленок пены.

- 2. Разрушение пены механическими, гидро- и аэродинамическими способами: ударное воздействие поверхностей деталей и элементов; воздействие жидкости или газа; сепарирование пены инерционными, центробежными и другими методами; резкое изменение давления газа в пене; захват и разрушение пены потоками перемешиваемой жидкости.
- 3. Разрушение пены при физических воздействиях: колебания звуковой и ультразвуковой частоты; термическое пеногашение острым паром или при помощи нагретой жидкости; электрическое пеногашение.
- 4. Стабилизация уровня пены путем временного уменьшения расхода аэрирующего воздуха, отключения механической мешалки, вывода избыточной пены из аппарата.
- 5. Комбинированные воздействия.

На практике применяются в основном химические и механические способы пеногашения, а также их сочетания.

Химический метод пеногашения состоит в добавлении в исходную питательную среду и (или) в культуральную жидкость по ходу ферментации специальных веществ-пеногасителей. Химические пеногасители могут быть жировые, или натуральные, и синтетические. Действие жировых пеногасителей основано на том, что в процессе самопроизвольного эмульгирования в ферментационных жидкостях жиры адсорбируют пенообразователи. Жиры, не обладающие способностью к эмульгированию, обычно не обладают пеногасящими свойствами.

К жировым пеногасителям относятся легкоплавкие животные жиры (костный, свиной и др.), растительные масла (подсолнечное, соевое, оливковое и др.). Широко применявшийся кашалотовый жир теперь практически не используется в связи с прекращением китобойного промысла. Физико-химические и пеногасящие свойства жиров зависят главным образом от жирнокислотного состава. Важное значение имеет температура плавления жира: если она выше 60 °С, то жир не обладает пеногасящим действием из-за неспособности к эмульгированию в процессе ферментации. Особенность жировых пеногасителей состоит в том, что они одновременно могут быть источником углеродного питания для микроорганизмов. Оптимальный режим добавления пеногасителей с учетом их влияния на выход целевого продукта приходится подбирать индивидуально для каждого процесса.

Натуральные пеногасители обладают следующими недостатками:

- большим расходом жировых пеногасителей (0,5—2,5% к объему питательной среды), являющихся ценным пищевым сырьем;
- высокой стоимостью;
- добавлением больших количеств жира в процессе ферментации, что затрудняет последующие процессы фильтрации и выделения целевого продукта;



- *резким снижением качества животных жиров при длительном хранении;*
- *непостоянными химическим составом и, следовательно, технологическими свойствами жировых пеногасителей в различных партиях.*

Некоторую экономию в расходе натуральных пеногасителей можно получить, применяя способ приготовления водных эмульсий впрыскиванием олеиновой кислоты под давлением до 20 МПа (200 кгс/см²) непосредственно в воду. Эмульсии целесообразно готовить непосредственно в цехе в реакторе, оборудованном мешалкой и гидродинамическими вибраторами, так как сохраняемость эмульсии без расслаивания около 1 ч. Использование эмульсии рыбьего жира, олеиновой кислоты и других веществ сокращает их расход в несколько раз. Недостатки жировых пеногасителей заставляют искать им замену в виде синтетических ПАВ. Действие таких веществ заключается в полном или частичном вытеснении молекул пенообразователя с поверхности пленок пены. Следовательно, пеногасители должны обладать большей поверхностной активностью, чем содержащиеся в культуральной жидкости пенообразователи. Поэтому пеногасители, как правило, нерастворимы в воде и в культуральной жидкости.

Синтетические ПАВ содержат гидрофильную группу, определяющую диссоциацию в культуральной жидкости. К ним относятся кремнийорганические полимеры (силоксаны), четырехзамещенные аммониевые основания, алкиламиносульфонаты, сложные эфиры, спирты и др. Наиболее распространены в промышленности полиэфирные препараты пропиол Б-400 и адеканоль (Япония), полиме-тилсилоксаны и др. Большинство синтетических ПАВ рекомендуется использовать не в чистом виде, а в смеси с подходящим носителем (чаще всего свиным жиром или парафиновым маслом). Чем медленнее происходит высвобождение молекул ПАВ из носителя, тем выше его эффективность. На эффективность действия химических пеногасителей влияет степень их диспергирования в ферментационной среде. Применяют механические способы диспергирования, нередко для лучшего распределения применяют эмульсии пеногасящих препаратов.

Каким бы хорошим ни был химический пеногаситель, он все-таки часто вызывает нежелательные побочные явления, поэтому следует проводить биосинтез с минимальным расходом химического пеногасителя, а пену разрушать механическим способом.

Принцип действия механических устройств пеногашения прост. При контакте рабочего органа с пузырьками они разрушаются, уменьшаются в размере или происходит отброс уплотненной эмульсии в более отдаленные зоны, при этом выделяется газ (обработка в центробежном поле).

В основном совершенствуются рабочий орган и камера (ограждающее устройство) вокруг него. Не менее важна организация потока пены в устройстве и отвод газа и жидкости (более плотной пенной эмульсии). Применяются как встроенные в аппарат, так и выносные механические пеногасители. К сожалению, несмотря на довольно широкое



применение этих устройств, методика их расчета не разработана. В принципе, здесь применимы методы расчета химических реакторов, но следует учитывать все осложнения при работе с неустойчивыми газо-жидкостными системами.

К числу простейших конструкций относится гладкий быстровращающийся ротор. При его использовании затрачивается минимальное количество электроэнергии и вторичное пенообразование сведено до минимума.

Кроме гладких дисков используют гладкие или перфорированные диски с лопастями разной формы, с неподвижными экранами, конические тарелки и др.

Следующим конструктивным вариантом является гладкий диск с прямыми радиальными лопастями.

Известен пенобиватель, представляющий собой перфорированный диск со смонтированными двумя крыльчатками: верхняя — лопастями вверх, нижняя — лопастями вниз. Турбины диаметром 80—700 мм с окружной скоростью 10—70 м/с размещают на расстоянии 150—1200 мм от поверхности жидкости. Рабочий орган можно выполнить в виде диска с отверстиями, который погружен в пену и связан с вибродвигателем.

Рабочий орган помещают на одном валу с мешалкой для одновременного пеногашения и предотвращения образования воронки. При производстве дрожжей используют иногда пеногаситель с лопастями изогнутой формы, нижние их углы, обращенные к центру, срезаны по кривой, а кромки закреплены на кольце. На вращающейся оси с мешалкой турбинного типа устанавливают насадку из прутьев или проволоки, создающую водоворот, который сбивает пену.

Один из простейших вариантов закрытого пеногасящего устройства представляет собой крыльчатку вентилятора, установленную вертикально. Пена в устройстве поступает по центру, ротором отбрасывается к круглой, конусообразной в вертикальной плоскости стенке и выводится тангенциально.

На практике широко применяется устройство, имеющее пакет конических тарелок на полом вала. Пеногаситель устанавливают на самостоятельном валу, который не зависит от вала системы перемешивания. Устройства работают как в лабораторных, так и в пилотных и промышленных аппаратах. Разработано устройство для непрерывного отвода не содержащих пену газообразных продуктов реакции и избыточных газов из ферментёра с вращающимся полым телом, состоящим из нескольких параллельных воронкообразных тел. В этой конструкции отсутствует полый вал, что, несомненно, делает ее более простой и надежной.

Пеногасители с коническими тарелками особенно рекомендуются для гашения мелкодисперсной пены, которая плохо поддается механическому разрушению. В этой ситуации наиболее эффективно сепарирование системы в центробежном поле, в частности на поверхности сепарационных тарелок.

Известны конструкции пеногасителей с рабочими органами на горизонтальном валу.



Пеногасящие устройства целесообразно рассматривать как неотъемлемые части ферментёров и разрабатывать их совместно.

Из статических механических устройств для пеногашения можно назвать циклоны (обычные или специально сконструированные для разделения пен), вихревые сепараторы, пеноразрушающие колонны и отстойники.

Механические методы пеногашения в отличие от химических не оказывают ингибирующего воздействия на культуру микроорганизмов. Однако их применение связано с большими затратами энергии, которые не всегда достаточно эффективны.

На практике обычно механические устройства для пеногашения применяют в сочетании с химическими пеногасителями. При этом достигается наилучший эффект пеногашения.

Пеногасящее устройство может быть вмонтировано в ферментёр или присоединено к нему. Целесообразно подавать пену в механический пеногаситель, отработанный газ — в циклон. Это позволяет полностью использовать мощность механического устройства и, кроме того, обеспечить постоянную сепарацию мелких капель из отработанного газа.

34. Физические, химические, электрофизические методы обработки биотехнологических продуктов.

Ответ:

В классической биотехнологии физическими, химическими и ферментативными методами пользуются, в частности, для разрушения клеток. Наибольшее промышленное значение имеют физические способы дезинтеграции:

- 1) ультразвуком;*
- 2) лопаточными или вибрационными дезинтеграторами - метод, обычно используемый в пилотных и промышленных установках;*
- 3) встряхиванием со стеклянными бусами;*
- 4) продавливанием через узкие отверстия под высоким давлением (экструзионные методы);*
- 5) раздавливанием замороженной массы;*
- 6) растиранием в специальных ступках;*
- 7) с помощью осмотического шока;*
- 8) многократным замораживанием и оттаиванием;*
- 9) сжатием клеточной взвеси с последующим резким снижением давления (декомпрессией).*

Физические способы дезинтеграции отличаются большей экономичностью в сравнении с другими методами, однако они характеризуются отсутствием выраженной специфичности, вследствие чего обработка может отрицательно влиять на качество получаемого целевого продукта.

Экструзионные методы Экструзия – продавливание суспензии клеток через капиллярные отверстия. Для обработки жидких или замороженных суспензий. Диаметр отверстий



рабочих матриц 0, 1 – 10 мм. Гидроэкструдеры – 2000 -4000 кг/см² Твердофазовые – 10000 - 50000 кг/см².

Химические и ферментативные методы обеспечивают мягкое и избирательное разрушение клеточной стенки. Так, бактериальные клетки разрушаются лизоцимом в присутствии ЭДТА (этилендиаминтетрауксусной кислоты), а клеточные стенки дрожжей зимолизой улитки или ферментами грибного либо актиномицетного происхождения. Клеточные стенки микроорганизмов могут быть разрушены путем обработки толуолом или бутанолом. Элективный лизис клеток вызывается воздействием ряда антибиотиков: полимиксин, новобиоцин, нистатин и др. После дезинтеграции клеток необходимо избавляться от их "обломков", для чего используют те же методы, что и при сепарации, т. е. центрифугирование или фильтрацию.

Электрофизические методы обработки основаны на использовании электромагнитной энергии излучения.

К электрофизическим методам обработки относят: обработку переменным электрическим током, в электростатическом поле, электроконтактную, высокочастотную, сверхвысокочастотную, инфракрасным излучением.

Преимущества данных методов – высокая скорость процесса (из-за высокой производительности труда), сохранение пищевой ценности продукта при высоком бактерицидном эффекте обработки, снижение тепловых потерь в окружающую среду, высокий КПД использования энергии, возможность автоматизации производственного процесса, улучшение санитарно-гигиенических условий производства. Недостатки: требования повышенной энергобезопасности оборудования, необходимость подготовки квалифицированного персонала, относительная сложность и высокая стоимость промышленных устройств.

Высокочастотный метод обработки

Данный метод эффективен при проведении тепловых и массообменных процессов: нагрев, стерилизация, размораживание, сушка, сваривание полимеров и другое.

Электроконтактные методы обработки

Это методы, осуществляемые путём непосредственного контакта электрического тока с продуктом, которые используются для нагрева, электроплазмолиза растительного сырья, электрофлорации, электростимуляции мясных туш с целью ускорения созревания мяса. Электроплазмолиз является эффективной электроконтактной обработкой растительного сырья при сокоотдаче. Преимущества электрического метода повреждения плиточных структур (электроплазмолиза):

- не вызывает разрушения клеточных стенок и поэтому исключает переход пектиновых веществ в сок;
- способствует разрыву плазменных оболочек на более крупные частицы, что положительно сказывается на выходе сока. Электро- сепарирование, или разделение дисперсий, основано на различии электрофизических, геометрических, физико-химических



и других показателей, составляющих дисперсию компонентов. Сообщить частице заряд можно разными способами: в поле коронного разряда за счёт абсорбции газов на поверхности частицы, путём непосредственного контакта с электродами, электризацией трением и другими. Заряженные частицы под действием электрического поля и механических сил воздействия совершают упорядоченное, но разное движение для составляющих систему компонентов.

Комбинированные методы используются при совмещении различных вышеперечисленных методов, например, обработка мяса последовательно сверхчастотным методом на первых стадиях и инфракрасным излучением – на завершающей стадии жаренья.

Ультразвук. Ультразвуковыми называются упругие механические колебания с частотой выше 20 кГц (не воспринимаемые человеческим ухом).

Причиной разрушительного действия УЗ является возникновение местных ударных давлений. Они возникают при распространении УЗ-колебаний в жидкой среде (при определенных условиях), вызывая при этом чередующиеся сжатия и растяжения пузырьков жидкости (кавитационные пузырьки).

УЗ может быть использован для ускорения переноса веществ из среды в гель (например, для ускорения посолки мяса, рыбы) и из геля - в окружающую среду (для ускорения экстракции жира).

При повышении температуры усиливается бактерицидное действие УЗ на микрофлору молока, удаляются стойкие загрязнения на возвратной (бывшей в употреблении) стеклянной таре, не отмываемых традиционными моечными машинами.

Под действием УЗ проводится активизация и адаптация хлебопекарных дрожжей на хлебозаводах.

Установлено положительное влияние УЗ на вкусовые качества шоколада: он отличается нежностью, бархатистостью и более тонким букетом. Под действием УЗ вязкость шоколадной массы снижается на 7-10%.

С помощью УЗ проводятся также процессы:

- гидрогенизация жиров, осветление растительных масел;
- мгновенная варка водомучных суспензий в хлебопекарных и спиртовых технологиях;
- очистка диффузионного сахарного сока;
- осаждение виннокислых солей, содержащихся в вине и многие другие. Импульсные и пульсационные методы обработки пищевых продуктов основаны на аккумулировании во времени энергии и выделении её затем в чрезвычайно малые промежутки времени, что позволяет достигать высоких значений мгновенной мощности.

Диспергирующее действие электроимпульсного разряда можно использовать в целях гомогенизации пищевых продуктов в маргариновой, масложировой, молочной и других отраслях пищевой промышленности.

Импульсный разряд (ИР) одновременно с механическим диспергированием оказывает сильное бактерицидное действие, так что во время обработки может быть достигнута



пастеризация и стерилизация продукта. Эффективным является использование импульсного разряда для:

- *улучшения условий извлечения жира из сырья, в частности, для получения белкового концентрата из масличных семян;*
- *для разрушения стенок жировых клеток и извлечения жира (например, из кости).*

Наряду с импульсными методами используются и низкочастотные вибрации, а также пульсационная техника.

Пульсационные методы при минимальных затратах обеспечивают довольно значительную интенсификацию процессов перемешивания, гомогенизации, экстракции, посола и других.

Терморadiационная сушка осуществляется с помощью инфракрасных лучей, обладающих большой проникающей способностью и позволяющих значительно сократить процесс обезвоживания. Этот способ характеризуется высокой интенсивностью процесса, безинерционностью. Сушка инфракрасными лучами эффективна, если толщина сушильного материала соизмерима с глубиной проникновения этих лучей в материале. Технология сушки с использованием длинноволнового инфракрасного излучения относятся к экологическим чистым методам сушки. Высушенный продукт может храниться длительное время без ухудшения качества, так как высокая плотность ИК-излучения активно уничтожает вредную микрофлору в продукте. Основными достоинствами технологии ИК - сушки являются: а) высокое качество вырабатываемого продукта; б) использование селективного ИК - излучателя позволяет сохранить содержание витаминов и других биологически активных и полезных веществ в высушенных продуктах на уровне 80...90 % от их количества в исходном сырье; в) при непродолжительном замачивании продукт восстанавливает 8 свои натуральные, органолептические, физические и химические свойства (цвет, аромат, вкус); г) способность к хранению. Применение ИК-сушки в производстве позволит сократить (в несколько раз) массу и объем исходного сырья, а, следовательно, потребность в таре, складских помещениях, повысить эффективность использования транспортных средств. Расход электроэнергии меньше, чем при СВЧ методе и составляет 1,4–2,2 кВт·ч/кг испаренной влаги. По такому принципу сушки работает термошкаф ТШ–902 В. Вместе с тем такой способ сушки требует своего усовершенствования для снижения расхода электрической энергии.

35. Процессы с использованием электротоков высокой и сверхвысокой частоты.

Ответ:

В настоящее время в различных областях промышленности, включая сельское хозяйство, биотехнологию, медицину, расширилась область применения электротехнологических процессов. Это обусловлено не только ростом потребности в них, но и в немалой степени сокращением природных запасов, необходимостью принятия кардинальных мер по охране окружающей среды, созданию безотходных технологий.



Особенности СВЧ нагрева Термином «СВЧ излучение» или «МВ излучение» в настоящее время обозначают электромагнитные колебания с частотой от 300 МГц до 300 ГГц (длина волны от нескольких метров до долей сантиметра). В спектре электромагнитного излучения микроволны расположены между ИК излучением, и радиоволнами (рис. 1). При поглощении электромагнитной энергии в веществе возникают объемные источники энергии, обусловленные как токами проводимости, так и поляризационными процессами. В диэлектрических средах главную роль играет диэлектрическая поляризация (атомная, электронная, ориентационная и структурная). При изучении СВЧ нагрева технологических сред, в частности катализаторов, в электромагнитном поле СВЧ диапазона необходимо учитывать тепловыделение при протекании токов проводимости и тепловыделение, вызванное поляризацией среды. СВЧ излучение может взаимодействовать с веществами, находящимися в газообразном, жидком или твердом состоянии.

Электронная поляризация вызывается смещением электронов относительно ядра атома, атомная – за счет смещения атомов в материале с неоднородным распределением зарядов относительно друг друга. Так как время релаксации данных видов поляризации значительно меньше периода колебаний электромагнитного излучения СВЧ диапазона, то общий вклад этих составляющих в СВЧ нагрев материала невелик. Ориентационная поляризация вызывается перераспределением зарядов в полярных молекулах или других молекулах, обладающих дипольным моментом в веществе. Данный вид поляризации оказывает наиболее существенное влияние на процесс СВЧ нагрева, так как время релаксации ориентационной поляризации примерно такое же, что и период колебаний электромагнитного поля СВЧ диапазона. Структурная поляризация (поляризация Максвелла-Вагнера) имеет место на границах раздела неоднородных сред и в большинстве случаев оказывает лишь незначительное влияние на нагрев в электромагнитном поле СВЧ диапазона.

Сушка токами высокой и сверхвысокой частот. Обрабатываемый продукт помещают в поле высокой или сверхвысокой частоты. Диполи молекул влаги, находящиеся в продукте, приходят в колебательное движение, таким образом, энергия электромагнитных волн переходит в теплоту. Установки ВЧ и СВЧ сушки относятся к среднему классу сложности пищевого машиностроения. Сушка токами ВЧ и СВЧ по скорости сушки имеет ощутимые преимущества по сравнению с конвективным и кондуктивным способами. Достоинства этого метода является более высокая интенсивность сушки за счет тепловыделения в большом объеме материала в одинаковой степени, возможность досушить продукт до нулевой влажности, высокая сохраняемость полезных веществ и витаминов и др. Однако есть и недостатки. Очень высокие капитальные затраты, сложная техническая база, установки должны иметь хорошую защиту от СВЧ – излучения. В диапазоне высоких влажностей уступает конвективному способу по энергоёмкости. Имеют средние показатели по металлоемкости, экологически опасны



вследствие вредности воздействия микроволнового излучения на человека, требуют для обслуживания специализированного персонала и постоянного контроля фона СВЧ излучения. Удельные энергозатраты от 1,8 до 3,5 кВт· ч/кг испаренной влаги. Микроволновый способ отлично подходит для сушки высококачественной продукции с невысоким исходным влагосодержанием (некоторые пищевые продукты, овощи, фрукты и т.д.), а также для окончательной сушки – в комбинации с другими методами.

36. Кинетика и массообмен в процессах ферментации. Принципы расчета аппаратов для проведения процессов ферментации.

Ответ:

Рост культуры можно охарактеризовать временем удвоения количества клеток или биомассы, биомасса может увеличиваться и без деления клеток.

Для количественной оценки роста клеток анализируются основные параметры роста: удельная скорость роста, время удвоения, степень размножения, метаболический эффект, влияние концентрации субстрата на скорость роста.



Лag-фаза – период адаптации, лог-фаза – рост и\ или деление, фаза замедленного роста (лимитирующие факторы),

фаза отмирания (число отмерших и автолизированных клеток превышает прирост).

Математическое описание процесса ферментации, как правило, используется при решении задач управления процессом непрерывного культивирования.

Вид алгебраических соотношений между входными и выходными переменными из-за отсутствия или игнорирования знаний о закономерностях процесса принимается универсальным, в виде полиномов различной степени.

В рамках терминологии системного подхода более крупную систему, какой является процесс в целом, разбивают на ряд более мелких систем, связанных друг с другом общими входными или выходными параметрами.

Специфичными для микробиологических процессов являются уравнения:

- кинетики роста,



- образования продуктов метаболизма,
- потребления субстратов,
- частично - кинетики автолиза биомассы,
- инактивации продуктов метаболизма.

Блоки кинетики массообмена, теплообмена, материального и теплового баланса подобны аналогичным блокам при моделировании непрерывных химических процессов.

Основным физиологическим показателем, характеризующим кинетические свойства культуры, является удельная скорость роста, величина которой зависит от концентрации субстрата и константы K_s .

Существует много кинетических моделей роста клеток и одна из них модель Ж. Моно, уравнение которой отражает влияние одного субстрата на скорость изменения концентрации биомассы.

Кинетические модели роста клеток являются объектом исследования математического моделирования биологических процессов.

Уравнения материального баланса в БТП Для биомассы:

$dx/dt = D(XBX - x) + tx - tx$, где:

dx/dt – скорость изменения концентрации биомассы во времени;

$D(XBX - x)$ – разность скоростей подачи и удаления биомассы из аппарата;

$+tx$ – скорость роста биомассы в аппарате;

$-tx$ – скорость автолиза биомассы. В этом выражении:

D – скорость разбавления,

XBX – концентрация биомассы на входе в аппарат (в случае, если моделируется одиночный или первый по ходу каскада аппарат, $XBX = 0$);

x – концентрация биомассы на выходе. Для субстратов:

$ds/dt = D(SBX - s) - qsx + Q_s$,

где: Q_s – член уравнения, появляющийся для газообразных субстратов (кислород, метан и т.д.) и характеризующий скорость растворения этого субстрата в культуральной жидкости,

SBX и s – концентрация субстрата на входе и на выходе соответственно, qs – удельная скорость потребления субстрата.

Для динамики концентрации продуктов метаболизма (лимитирующие факторы):

$dp/dt = 1)(p_{vx} - p) + qp \cdot x - Q_p$,

где: dp/dt – скорость изменения концентрации продуктов метаболизма в среде во времени;

- Q_p – скорость инактивации продуктов в ходе процесса (в случае, если продукт нестабилен), добавляется для летучих (газообразных) метаболитов типа растворенного CO_2 в правую часть уравнения;

p_{vx} – концентрация продуктов на входе (она равна нулю, если это первый аппарат в каскаде или одиночный аппарат);

p – концентрация продуктов на выходе; qp – удельная скорость образования продукта.



Особенности математического моделирования БТП

Уравнений для метаболитов должно быть столько, сколько имеется в культуральной жидкости продуктов метаболизма, существенно влияющих на ход процесса (субстрат) или являющихся полезным (вредным) продуктом с точки зрения потребностей человека.

Уравнения кинетики роста, образования продуктов, потребления субстратов, автолиза биомассы и инактивации продуктов являются специфическими для микробиологических процессов.

Математическое описание кинетики этих процессов отличается от традиционной химической кинетики, поскольку все процессы осуществляются с участием биокатализаторов-ферментов.

Причем субстрат в процессе превращения в организованную биомассу или продукт метаболизма проходит весьма большое число промежуточных стадий биохимических ферментативных реакций.

В связи с этим в микробиологической кинетике принято в качестве выходных параметров использовать не абсолютные значения скоростей реакций, а удельные, отнесенные к единице веса микробной массы.

Принципы расчета процессов и аппаратов БТП

Расчет машин и аппаратов предусматривает определение:

- массовых потоков перерабатываемых материалов,*
- количеств необходимой энергии,*
- оптимальной площади теплообменной поверхности (объема) аппарата,*
- продолжительности процесса,*
- основных размеров машин и аппаратов.*

Анализ кинетических закономерностей позволяет:

- оценить условия процесса,*
- определить оптимальные условия, соответствующие минимальным размерам машин и аппаратов.*

4. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

4.1 Порядок проведения промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация по дисциплине по системе зачет/незачет на основании экспертной оценки преподавателя в виде собеседования по двум вопросам, сгруппированным в экзаменационный билет, с учетом результатов текущего контроля знаний: ответов при устном опросе, результатов



тестирования по пройденным темам, качества устного доклада по выбранной теме, качества выполнения дополнительных текущих заданий.

К сдаче зачета допускаются студенты:

- имеющие не менее 80 % посещенных лекционных занятий и не менее 100 % практических занятий,
- со сданными не менее чем на «удовлетворительно» заданиями по темам, пройденным в течение семестра (устный опрос, тестирование, дополнительные задания),
- отработавшие пропущенные занятия (удовлетворительный устный ответ на дополнительный вопрос по пропущенной теме и наличие личного конспекта лекции);
- имеющие не менее одного доклада, презентации и удовлетворительного выступления на практических занятиях.

Студент имеет право погасить свою задолженность во время текущих консультаций или в ходе промежуточной аттестации.

Особенности процедуры проведения промежуточной аттестации инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья обозначены в рабочей программе дисциплины (модуля).

4.2 Критерии оценивания промежуточной аттестации по видам оценочных средств

Студент получает **зачет** по дисциплине, если глубоко и полно владеет содержанием учебного материала; умеет связывать теорию с практикой, решает задачи, теоретические выводы подтверждает примерами, фактами, данными научных исследований; осуществляет межпредметные связи, предложения. Делает выводы логично, четко. Ясно и кратко излагает ответы на поставленные вопросы; умеет обосновывать свои суждения и профессионально-личностную позицию по излагаемому вопросу. Ответ носит самостоятельный характер, но содержание ответа имеет отдельные неточности (несущественные ошибки) в изложении теоретического и практического материала, отличается меньшей обстоятельностью, глубиной,



обоснованностью и полнотой; допущенные ошибки исправляются студентом после дополнительных вопросов преподавателя.

Студент **не получает зачет** по дисциплине, если имеет разрозненные, бессистемные знания: не умеет выделять главное и второстепенное; допускает ошибки в определении понятий, формулировке теоретических положений, искажает их смысл; не ориентируется в программно- методических материалах, беспорядочно и неуверенно излагает материал; не умеет соединять теоретические положения с практикой; не умеет применять знания для обоснования и объяснения фактов, не устанавливает межпредметные связи.

4.3. Результаты промежуточной аттестации и уровни сформированности компетенций

Результат промежуточной аттестации оценивается по двухбалльной шкале («зачет» / «незачет») на основании экспертной оценки преподавателя.

Уровни сформированности компетенций определяется следующим образом:

1. Высокий уровень, соответствует оценке «зачет», предполагает формирование компетенций на высоком уровне, включая владение информацией из актуальных периодических изданий по тематике дисциплины и дополнительных достоверных источников информации, критический анализ информации:

- глубокое и полное владение содержанием учебного материала и понятийным аппаратом;
- умение связывать теорию с практикой, иллюстрировать ответы примерами, фактами, данными научных исследований;
- системное изложение материала при ответе на вопросы, умение прослеживать межпредметные связи, делать выводы;
- четкое, ясное, логичное изложение теоретического и методологического материала по теме дисциплины, иллюстрация ответа практическими примерами;



- умение четко и кратко отвечать на поставленные вопросы, умение аргументировано обосновывать свою точку зрения на проблему, суждения и профессионально-личностную позицию по излагаемому вопросу;

- самостоятельность при ответе на вопросы заданий и дополнительные вопросы преподавателя.

2. Средний уровень, соответствует оценке «зачет», предполагает формирование компетенций на хорошем уровне, владение информацией из актуальных периодических изданий по тематике дисциплины:

- не исчерпывающее, но достаточно полное владение содержанием учебного материала и понятийным аппаратом;

- умение связывать теорию с практикой, иллюстрировать ответы примерами, фактами, данными научных исследований;

- системное изложение материала при ответе на вопросы, умение прослеживать межпредметные связи, делать выводы;

- логичное изложение теоретического и методологического материала по теме дисциплины;

- умение отвечать на поставленные вопросы и обосновывать профессионально-личностную позицию по излагаемому вопросу.

Допущенные неточности исправляются студентом самостоятельно после уточняющих вопросов преподавателя.

3. Базовый уровень, соответствует оценке «зачет», предполагает формирование компетенций на удовлетворительном уровне, включая владение информацией по тематике дисциплины в объеме лекций и учебных пособий:

- удовлетворительное владение содержанием учебного материала и понятийным аппаратом;

- умение связывать теорию с практикой;

- системное изложение материала при ответе на вопросы, умение прослеживать межпредметные связи, делать выводы;

- не последовательное, но логичное изложение теоретического и методологического материала по теме дисциплины;

- умение отвечать на поставленные вопросы;

- отсутствие умения аргументировано обосновывать профессионально-личностную позицию по излагаемому вопросу.



Допущенные ошибки и неточности исправляются студентом после наводящих вопросов преподавателя.

4. Низкий уровень, соответствует оценке «незачет», не сформирован начальный уровень компетенций, отсутствует способность связно изложить информацию по тематике дисциплины в объеме лекций и учебных пособий:

- отсутствие знаний и понимания основных положений учебного материала или разрозненные, бессистемные знания и неумение выделять главное и второстепенное;
- неполное, непоследовательное изложения материала, нарушение логики изложения материала;
- существенные ошибки в определении понятий, формулировке положений;
- отсутствие аргументации при ответе, ссылок на основные положения исследовательских, концептуальных и нормативных документов;
- неумение применять знания для обоснования и объяснения фактов, устанавливать межпредметные связи;
- низкий уровень самостоятельности при ответе на вопросы и отсутствие собственной профессионально-личностной позиции.

Допущенные ошибки и неточности не исправляются студентом самостоятельно после наводящих вопросов преподавателя.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)

Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) "Процессы и аппараты в биотехнологии" специальности 06.05.01 "Биоинженерия и биоинформатика" специализации Биоинженерия и биоинформатика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Стр. 117

**06.05.01 Биоинженерия и биоинформатика специализация
Биоинженерия и биоинформатика, фонд оценочных средств для
промежуточной аттестации по дисциплине «Процессы и аппараты в
биотехнологии», год набора 2026, очная форма обучения**

Проректор по учебной работе утверждено 03.03.2026 А.А. Саламатов

Ученым советом биологического факультета

Протокол заседания № 8 от 27.02.2026

Председатель Ученого совета
биологического факультета согласовано Д.С. Сташкевич

Заседанием кафедры микробиологии, иммунологии и общей биологии

Протокол заседания № 9 от 27.02.2026

Заведующий кафедрой согласовано А.Л.Бурмистрова

Автор (составитель) Ю.Ю. Филиппова

***Структура фонда оценочных средств соответствует приказу ректора
ФГБОУ ВО от 27.09.2022 № 573-1 «Об утверждении положения ФОС по
ОП ВО в ФГБОУ ВО ЧелГУ»***