

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Невинномысский технологический институт» (филиал) СКФУ

Методические указания
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Направления и перспективы развития химического
оборудования»
для студентов направления подготовки 15.04.02 Технологические машины и
оборудование, направленность (профиль) Проектирование технологического
оборудования

Невинномысск 2025

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями ФГОС ВО и рабочей программы дисциплины «Направления и перспективы развития химического оборудования». Указания предназначены для студентов очной/заочной форм обучения направления подготовки 15.04.02 Технологические машины и оборудование.

Содержат основные разделы изучаемого теоретического материала, перечень вопросов необходимых для проработки, а также список рекомендуемой литературы.

Составители

Содержание

Лабораторное занятие № 1. *Введение.*

Лабораторное занятие № 2. *Мембранные аппараты.*

Лабораторное занятие № 3. *Мембранные аппараты.* (продолжение)

Лабораторное занятие № 4. *Колонные аппараты.*

Лабораторное занятие № 5. *Колонные аппараты.*

(продолжение)

Лабораторное занятие № 6. *Химические реакторы.*

Лабораторное занятие № 7. *Химические реакторы.*

(продолжение)

Лабораторное занятие № 8. *Сушильные установки.*

Лабораторное занятие № 9. *Сушильные установки.* (продолжение)

Введение

Дисциплина относится к дисциплинам части, формируемой участника образовательных отношений дисциплины по выбору. Она направлена на формирование профессиональных компетенций, обучающихся в процессе выполнения работ, определенных ФГОС ВО.

Методические указания составлены на современном научном уровне и рассчитаны на студентов, по направлению 15.04.02 Технологические машины и оборудование.

Последовательность тем соответствует логической структуре ее прохождения. Предлагаемые методические указания содержат материал, который рекомендуется использовать студентам при подготовке к практическим занятиям.

Для подготовки к практическим занятиям студент должен изучить материал по соответствующей теме, используя основную и дополнительную литературу, а также используя периодические издания СМИ.

Лабораторное занятие № 1. Введение

Цель занятия: Рассмотреть основные положения по теме.

Актуальность. Химическая индустрия является важнейшей частью хозяйства России. Поэтому многих волнуют перспективы развития химической промышленности, которые во многом связаны с переоснащением производства. В целом эта отрасль находится сегодня на достойном уровне. Но существуют моменты, требующие реформации. Научные разработки и новейшие технологии открывают много возможностей для химической отрасли. Это касается и оборудования, и сырья, из которого изготавливают продукцию.

Теоретическая часть

Перспективы химической промышленности очень велики в связи с тем, что эта отрасль развивается весьма динамично и этим порождает развитие научно-технического прогресса. Химическое производство обеспечивает практически все отрасли народного хозяйства своими товарами.

Сейчас сложно представить жизнь человека без машин, бытовой химии, различного рода удобрений для сельского хозяйства и других материалов. Химическая промышленность – огромный комплекс, который играет большую роль в производстве страны.

Химическая промышленность – область индустрии, занимающаяся производством продуктов путем их химической переработки. К ней относят горно-химическую, основную химию и химию органического синтеза.

Отрасль химической промышленности выделилась в самостоятельную с началом промышленного переворота, когда на заводах, фабриках и отдельных производствах появилась нужда в новых видах материала.

Несмотря на то, что эта область активно развивается и составляет большую часть ВВП страны, существует множество проблем. На внутреннем рынке снижаются показатели реализации производимой продукции.

Главными проблемами являются:

устаревшее оборудование;

низкая рентабельность производства;

выпуск больших объемов продукции низкого и среднего переделов;

низкие инвестиции и использование старых технологий;

нехватка профессионалов на рынке труда.

Вопрос о перспективах химической промышленности в стране назрел очень давно. Нынешние заводы уже не напоминают больших гигантов с большими цехами, теперь это небольшие производственные цеха с множеством лабораторий и системами компьютерного контроля над продвижением всех стадий технологического процесса.

Но, к сожалению, еще не все заводы и предприятия перешли на новый уровень. Их оборудование изношенное и в некоторых случаях достигает критического состояния, что влечет за собой аварийные ситуации на производстве и опасность для жизни и здоровья сотрудников.

Порядок выполнения работы:

1. Внимательно изучить конструкции мембранных аппаратов.
2. Подготовить краткое описание принципа работы изучаемого оборудования.
3. Ответить на контрольные вопросы.

Вопросы и задания:

Базовый уровень

1. Изложите основные сведения о машинах и аппаратах химической промышленности.
2. Изложите основные требования, предъявляемые к химическому оборудованию.
3. Охарактеризуйте материалы химического машиностроения: сталь, чугун, их применение
4. Охарактеризуйте материалы химического машиностроения: цветные материалы, неметаллы.
5. Изложите методы защиты оборудования.
6. Изложите методы контроля и испытания химических аппаратов.
7. Укажите значение стандартизации в химическом машиностроении.
8. Изложите правила выбора исходных данных для инженерного расчета.
9. Изложите правила выбора конструкции и расчета обечаек.
10. Опишите конструкции днищ и крышек аппаратов.

Повышенный уровень

1. Опишите виды фланцевых соединений, их классификацию.
2. Изложите правила выбора фланцев по ГОСТ.
3. Опишите устройства для присоединения трубопроводов и осмотра аппаратов.

Лабораторное занятие № 2. Мембранные аппараты

Цель занятия: Рассмотреть основные положения по теме.

Теоретическая часть

Аппараты с пористыми мембранами классифицируются по типу мембранных элементов, которые могут быть плоскими, трубчатыми, спиральными и волокнистыми.

Конструкцию аппаратов с плоскими мембранными элементами рассмотрим на примере аппарата типа «фильтрпресс» (рис. 3). Разделяющей элемент состоит из двух мембран 1, уложенных по обе стороны дренажной пластины 2, которая изготовлена из крупнопористого материала. Между разделяющими элементами расположены полые пластины (рамы) 3. Как показано на рис. 3, полые элементы чередуются с разделяющими и такая сборка зажимается с двух сторон торцевыми пластинами 4 при помощи стягивающих болтов 5. Разделяемый раствор последовательно проходит через все разделительные элементы, концентрируется и удаляется из аппарата. Прошедший же через мембрану фильтрат стекает по дренажным пластинам вниз и выводится из аппарата. Аппараты типа «фильтрпресс» отличаются простотой изготовления и сборки, замены мембран. Основным недостатком этих аппаратов является малая удельная поверхность мембран: $60 - 300 \text{ м}^2/\text{м}^3$ (поверхность мембран на единицу рабочего объема аппарата).

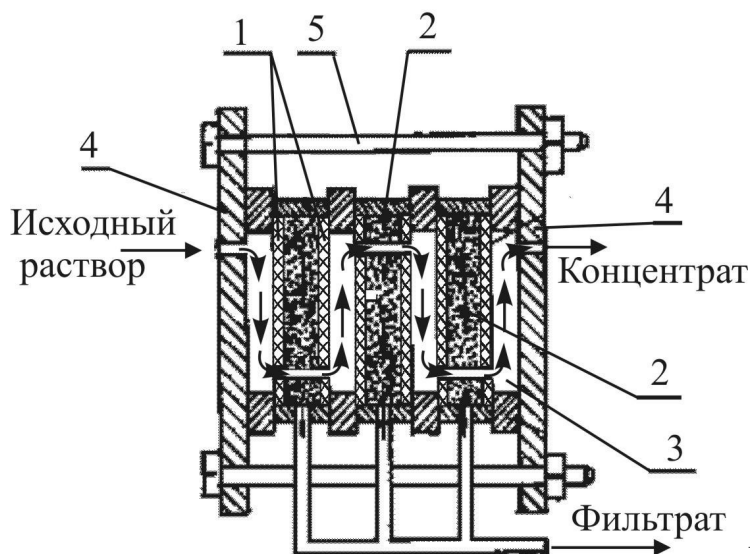


Рис. 3. Мембранный аппарат типа

«Фильтрпресс»:

1 – мембраны, 2 – дренажные пластины, 3 – рамы,
4 – торцевые пластины, 5 – стягивающие болты.

Аппараты с трубчатыми мембранными элементами применяют для обратного осмоса, но особенно широко их применяют для ультрафильтрации. Трубчатый мембранный элемент показан на рис. 4, аппарат с трубчатыми элементами показан на рис. 5, где в трубных плитах 1 герметично закреплены разделительные трубчатые элементы 2. По виду такой аппарат сходен с

кожухотрубчатый теплообменник. Положительные качества аппаратов с трубчатыми разделительными элементами заключаются в следующем: малая материалоемкость; хорошие гидродинамические условия работы мембраны, так как обеспечивается равномерность потока раствора во всех точках поверхности; относительно небольшое гидравлическое сопротивление разделительных элементов. Недостатком является малая удельная поверхность мембран: 60 - 200 м²/м³.

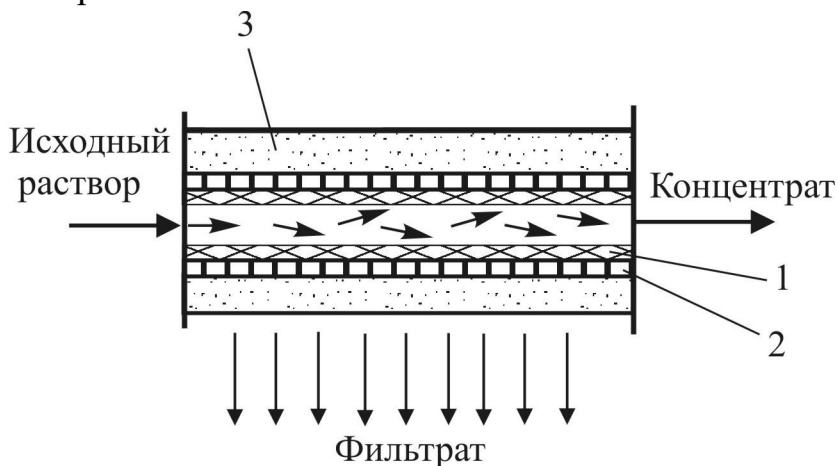


Рис. 4. Трубчатый элемент

для мембранного разделения:

1 – мембрана, 2 – подложка, 3 – пористая труба.

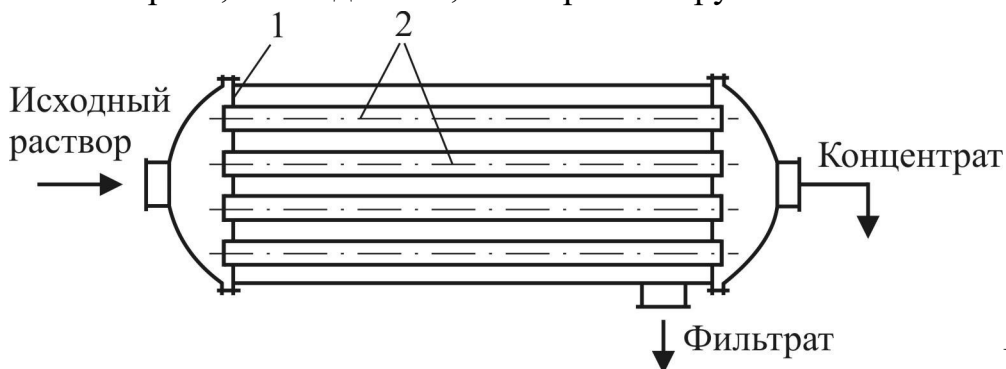


Рис. 5.

Мембранный аппарат с трубчатыми элементами:

1 - трубная плита, 2 - трубчатые мембранные элементы

Аппараты со спиральными мембранными элементами (рулонные) изготавливаются из четырехслойной пластины, свернутой в спираль и конструктивно схожи со спиральными теплообменниками. Схематично спиральный мембранный элемент изображен на рис. 6. Он состоит из сетки-сепаратора 2, по которой подается исходный раствор и выходит концентрат, двух мембран 1 и расположенного между ними дренажного слоя. Раствор, проходя по сетке-сепаратору, концентрируется за счет удаления части растворителя через мембраны в дренажный слой, из которого отводится фильтрат. Аппараты со спиральными мембранными элементами обладают большей удельной поверхностью (300 - 800 м²/м³) и

малой металлоемкостью, но более сложны в изготовлении и монтаже, а также имеют значительное гидравлическое сопротивление как сетки-сепаратора, так и дренажного слоя.

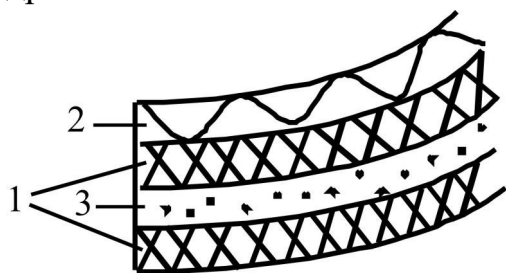


Рис. 6. Изображение спирального мембранного элемента:

1 – мембраны, 2 – сетка-сепаратор, 3 – дренажный слой.

Аппараты с волокнистыми мембранными элементами представляют собой пучки

мембран, изготовленных в виде полых волокон, концы которых с помощью эпоксидной смолы закреплены в трубных решетках 3 (рис. 7.). Такие аппараты применяются для баромембранных процессов. Волокна имеют наружный диаметр 45-1000 мкм и толщину стенки 10-200 мкм. Подача исходного раствора возможна как внутрь волокон (рис. 19.7.), так и снаружи. Достоинствами таких аппаратов является высокая удельная поверхность мембран ($20000-30000 \text{ м}^2/\text{м}^3$), а недостатком – необходимость предварительной очистки растворов от механических примесей.

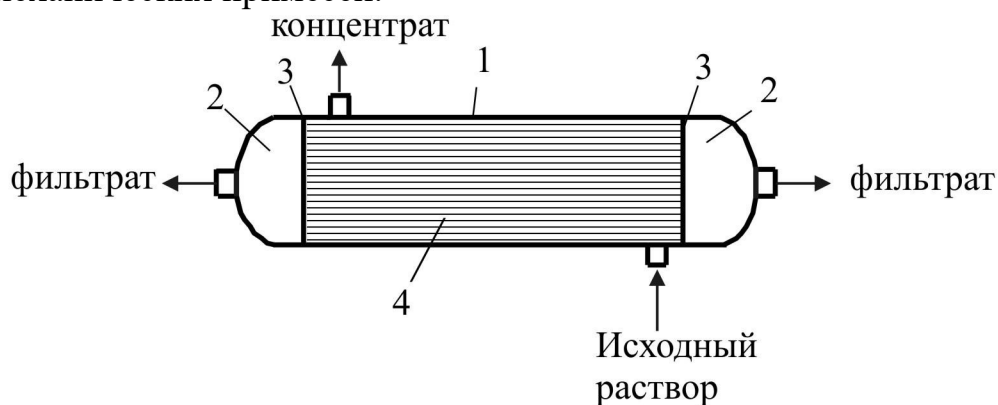


Рис. 7.

Мембранный аппарат с полыми волокнами:
1 – корпус, 2 – крышки, 3 – трубные решетки, 4 –

волокна.

Конструкции аппаратов с жидкими мембранами зависят от способа создания мембраны. Так, слой жидкой мембраны может располагаться между двумя плоскими параллельными полимерными пористыми перегородками, пропускающими исходный раствор, но удерживающими гель, из которого состоит мембрана. В этом случае конструкция аппарата будет идентична аппаратам с плоскими пористыми мембранами, например, «фильтрпресс» рис. 3.

Мембрана может образовывать жидкую пленку на поверхности разделяемой жидкости (испарение через мембрану), но удельная поверхность мембраны в этом случае невелика. Гораздо большую удельную поверхность можно обеспечить, если «мембранная жидкость» будет обволакивать капли разделяемой жидкости, распределенные в сплошной фазе (эмульсия). В этом

случае для проведения процессов мембранного разделения пригодны экстракторы, например, полый распыливающий, роторно-дисковый и другие.

Порядок выполнения работы:

1. Внимательно изучить конструкции аппаратов.
2. Подготовить краткое описание принципа работы изучаемого оборудования.
3. Ответить на контрольные вопросы.

Вопросы и задания:

Базовый уровень

1. Что называется мембранным разделением, мембранами? Какие продукты получают в результате мембранного разделения?
2. Что такое селективность и проницаемость мембраны?
3. Запишите уравнения материального баланса процесса мембранного разделения.
4. Как классифицируются методы мембранного разделения?
5. Что такое концентрационная поляризация, какими способами можно снизить ее негативное влияние на процесс мембранного разделения?
6. В чем заключаются преимущества и недостатки мембранного разделения?

Повышенный уровень

1. В каких случаях методы мембранного разделения обладают преимуществом по сравнению с другими?

Лабораторное занятие № 3. Мембранные аппараты (продолжение)

Цель занятия: Рассмотреть основные положения по теме.

Актуальность. Химическая индустрия является важнейшей частью хозяйства России. Поэтому многих волнуют перспективы развития химической промышленности, которые во многом связаны с переоснащением производства. В целом эта отрасль находится сегодня на достойном уровне. Но существуют моменты, требующие реформации. Научные разработки и новейшие технологии открывают много возможностей для химической отрасли. Это касается и оборудования, и сырья, из которого изготавливают продукцию.

Порядок выполнения работы:

1. Внимательно изучить конструкции аппаратов.
2. Подготовить краткое описание принципа работы изучаемого оборудования.
3. Ответить на контрольные вопросы.

Вопросы и задания:

Базовый уровень

1. Как классифицируются мембраны, их достоинства и недостатки?
2. Какие модели объясняющие процесс мембранного разделения вам известны, в чем они заключаются?
3. Изобразите конструкции мембранных аппаратов, проанализируйте их преимущества и недостатки.
4. Сформулируйте основные этапы расчета мембранных аппаратов.

Повышенный уровень

1. За счет чего возникает концентрационная поляризация?

Лабораторное занятие № 4. Колонные аппараты

Цель занятия: Рассмотреть основные положения по теме.

Актуальность. Химическая индустрия является важнейшей частью хозяйства России. Поэтому многих волнуют перспективы развития химической промышленности, которые во многом связаны с переоснащением производства. В целом эта отрасль находится сегодня на достойном уровне. Но существуют моменты, требующие реформации. Научные разработки и новейшие технологии открывают много возможностей для химической отрасли. Это касается и оборудования, и сырья, из которого изготавливают продукцию.

Теоретическая часть

Для контактирования потоков пара (газа) и жидкости в процессах ректификации и абсорбции применяются аппараты различных конструкций, среди которых наибольшее распространение получили вертикальные аппараты колонного типа. Аппараты этого типа могут быть классифицированы в зависимости от рабочего давления, технологического назначения и типа контактных устройств.

В зависимости от применяемого давления колонные аппараты подразделяются на атмосферные, вакуумные и колонны, работающие под давлением.

К атмосферным колоннам обычно относят колонны, в верхней части которых рабочее давление незначительно превышает атмосферное и определяется сопротивлением коммуникаций и аппаратуры, расположенных на потоке движения паров ректификата после колонны. Давление в нижней части колонны зависит в основном от сопротивления ее внутренних устройств и может значительно превышать атмосферное. Применяются при перегонке стабилизированных или отбензиненных нефтей на топливные фракции и мазут; В вакуумных колоннах давление ниже атмосферного (создано разрежение), что позволяет снизить рабочую температуру процесса и избежать разложения продукта. Величина остаточного давления в колонне определяется физико-химическими свойствами разделяемых продуктов и главным образом допустимой максимальной температурой их нагрева без заметного разложения. Предназначены для фракционирования мазута на вакуумный (глубоковакуумный) газойль или узкие масляные фракции и гудрон; В колоннах, работающих под давлением (1-4 МПа), применяемые при стабилизации или отбензинивании нефтей, стабилизации газовых бензинов, бензинов перегонки нефти и вторичных процессов и фракционировании нефтезаводских или попутных нефтяных величина последнего может значительно превышать атмосферное.

По технологическому назначению колонные аппараты подразделяются на колонны атмосферных и атмосферно-вакуумных установок, разделения нефти и мазута, колонны установок вторичной перегонки бензинов, каталитического крекинга, установок газоразделения, установок регенерации растворителей при депарафинизации масел и др.

По типу внутренних контактных устройств различают тарельчатые, насадочные и пленочные колонные аппараты.

В тарельчатых аппаратах (рис. VII-1,а) контакт между фазами происходит при прохождении пара (газа) сквозь слой жидкости, находящейся на контактном устройстве (тарелке). В ректификационных и абсорбционных колоннах применяются тарелки различных конструкций (колпачковые, клапанные, струйные, провальные и т.п.), существенно различающиеся по своим рабочим характеристикам и технико-экономическим данным.

Порядок выполнения работы:

1. Внимательно изучить конструкции аппаратов.
2. Подготовить краткое описание принципа работы изучаемого оборудования.
3. Ответить на контрольные вопросы.

Вопросы и задания:

Базовый уровень

1. Классификация колонных аппаратов.
2. Насадочные колонны.
3. Насадочные элементы.
4. Тарельчатые колонны.
5. Типы тарелок.
6. Условия безопасной эксплуатации колонных аппаратов.

Лабораторное занятие № 5. Колонные аппараты (продолжение)

Цель занятия: Рассмотреть основные положения по теме.

Актуальность. Химическая индустрия является важнейшей частью хозяйства России. Поэтому многих волнуют перспективы развития химической промышленности, которые во многом связаны с переоснащением производства. В целом эта отрасль находится сегодня на достойном уровне. Но существуют моменты, требующие реформации. Научные разработки и новейшие технологии открывают много возможностей для химической отрасли. Это касается и оборудования, и сырья, из которого изготавливают продукцию.

Порядок выполнения работы:

1. Внимательно изучить конструкции аппаратов.
2. Подготовить краткое описание принципа работы изучаемого оборудования.
3. Ответить на контрольные вопросы.

Вопросы и задания:

Базовый уровень

- 1 Опишите конструкцию и элементы насадочные колонны.
- 2 Опишите виды насадки и насадочные элементы.
3. Опишите конструкцию и элементы тарельчатой колонны.
4. Опишите устройство и типы тарелок.
5. Укажите условия безопасной эксплуатации колонных аппаратов.

Лабораторное занятие № 6. Химические реакторы

Цель занятия: Рассмотреть основные положения по теме.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы

Актуальность. Химическая индустрия является важнейшей частью хозяйства России. Поэтому многих волнуют перспективы развития химической промышленности, которые во многом связаны с переоснащением производства. В целом эта отрасль находится сегодня на достойном уровне. Но существуют моменты, требующие реформации. Научные разработки и новейшие

технологии открывают много возможностей для химической отрасли. Это касается и оборудования, и сырья, из которого изготавливают продукцию.

Теоретическая часть

Промышленный химический процесс – это экономически и экологически целесообразное производство требуемого продукта из исходного сырья. Химико-технологический процесс включает в себя ряд последовательных стадий: физические операции, подготавливающие исходные вещества. Основные стадии химико-технологического процесса. химической реакции (например, измельчение, нагревание и т.п.); собственно химическое превращение; далее продукты реакции и непрореагировавшие реагенты перерабатывают, применяя различные способы разделения, очистки и т.п. (рис. 1). В большинстве случаев химическая стадия является самой важной частью процесса. Поэтому «сердцем» процесса является химический реактор. Выбор типа и конструкции химического реактора, его расчет, создание системы управления его работой являются важными задачами химической технологии. Конструирование реактора не поддается шаблону, и для проведения процесса можно предложить много разных конструкций. В поисках оптимальной конструкции не обязательно останавливаться на наиболее дешевой. Реактор может иметь низкую стоимость, однако дополнительная переработка получаемых в нем продуктов будет стоить довольно дорого. Поэтому при проектировании нужно учитывать экономичность всего процесса в целом. Применяемые в промышленности реакторы по своему устройству могут быть самыми разнообразными: простой резервуар или емкость с мешалкой, полая или с насадкой колонна, доменная печь или сложный аппарат с катализатором, атомный реактор и многие другие. Разнообразие химических реакторов затрудняет проведение их полной классификации. В зависимости от критерия, положенного в основу классификации, один и тот же реактор может быть отнесен к разным классам. Наиболее употребимы следующие признаки классификации химических реакторов: гидродинамическая обстановка, условия теплообмена, фазовый состав реакционной смеси, способ организации процесса, характер изменения параметров процесса во времени, конструктивные характеристики. Рассмотрим наиболее важные из них.

Порядок выполнения работы:

1. Внимательно изучить конструкции аппаратов.
2. Подготовить краткое описание принципа работы изучаемого оборудования.
3. Ответить на контрольные вопросы.

Вопросы и задания:

Базовый уровень

1. Как классифицируют химические реакторы?
2. Укажите пути экологической безопасности работы химических реакторов.
3. Назовите основные направления научно-технического прогресса в химической промышленности.
4. Как связано решение экологических проблем с устройством и эксплуатацией химических реакторов?
5. Укажите пути интенсификации работы реакторных устройств.

Повышенный уровень

1. Какие признаки лежат в основе классификации химических реакторов?
2. Дайте сопоставление реакторов непрерывного и периодического действия.
3. Какие устройства используют для организации теплообмена в химических реакторах?
4. Дайте классификацию реакторов по тепловому режиму.
5. Охарактеризуйте понятия производительности и интенсивности работы реактора.
6. Назовите структурные элементы химических реакторов.
7. Какие предъявляют требования к химическим реакторам?
8. Перечислите основные факторы, которые следует учитывать при выборе реакторного устройства.

Лабораторное занятие № 7. Химические реакторы (продолжение)

Цель занятия: Рассмотреть основные положения по теме.

Актуальность. Химическая индустрия является важнейшей частью хозяйства России. Поэтому многих волнуют перспективы развития химической промышленности, которые во многом связаны с переоснащением производства. В целом эта отрасль находится сегодня на достойном уровне. Но существуют моменты, требующие реформации. Научные разработки и новейшие технологии открывают много возможностей для химической отрасли. Это касается и оборудования, и сырья, из которого изготавливают продукцию.

Теоретическая часть

По типу конструкции химические реакторы подразделяют на емкостные, колонные, трубчатые. Емкостные реакторы – это полые аппараты, часто снабженные перемешивающим устройством (рис. 4а). Перемешивание газо-

жидкостных систем может производиться барботированием газообразного реагента. Теплообмен осуществляется через поверхность химических реакторов или путем частичного испарения жидкого компонента реакционной смеси. К реакторам этого типа относят также аппараты с неподвижным или псевдооживленным слоем (одним или несколькими) катализатора (рис. 4б). В многослойных реакторах теплообмен осуществляется смешением потоков реагентов или в теплообменных элементах аппарата. В емкостных реакторах проводят непрерывные, периодические и полупериодические процессы. Колонные химические реакторы могут быть пустотелыми либо заполненными катализатором или насадкой (рис. 5). Для улучшения межфазного массообмена применяют диспергирование с помощью разбрызгивателей, барботеров, механические воздействия (вибрация тарельчатой насадки, пульсация потоков фаз) или насадки, обеспечивающей высокоскоростное пленочное движение фаз. Реакторы данного типа используют в основном для проведения непрерывных процессов в двух- или трехфазных системах. Трубчатые химические реакторы применяют часто для каталитических реакций с теплообменом в реакционной зоне через стенки трубок и для осуществления высокотемпературных процессов газификации. При одновременном скоростном движении нескольких фаз в таких реакторах достигается наиболее интенсивный межфазный массообмен. Специфическими особенностями отличаются реакторы для электрохимических, плазмохимических и радиационно-химических процессов.

Порядок выполнения работы:

1. Внимательно изучить конструкции аппаратов.
2. Подготовить краткое описание принципа работы изучаемого оборудования.
3. Ответить на контрольные вопросы.

Вопросы и задания:

Базовый уровень

1. В чем заключается принцип математического моделирования химических реакторов?
2. Как влияет гидродинамическая структура потоков на химико-технологические процессы в реакторах?
3. Дайте сравнительную оценку реакторам идеального вытеснения и идеального смешения.
4. Приведите характеристические уравнения периодического и проточного реакторов идеального смешения.
5. Опишите графический метод расчета каскада реакторов идеального смешения.
6. Сделайте вывод характеристического уравнения реактора идеального

смешения.

7. Что понимают под средним временем пребывания частиц в реакторе? От чего оно зависит и как определяется?

8. Охарактеризуйте ячеечную и диффузионную модели структуры потоков.

9. Укажите причины отклонений от идеальных режимов в химических реакторах.

10. На чем основан выбор реактора для обеспечения максимального выхода целевого продукта?

Повышенный уровень

1. В чем заключаются достоинства и недостатки адиабатических реакторов?

2. Охарактеризуйте адиабатический температурный режим.

3. Приведите характеристическое уравнение адиабаты.

4. Напишите уравнения теплового баланса реактора идеального смешения в различных температурных режимах работы.

5. Как определяют оптимальный температурный режим реактора?

6. Охарактеризуйте влияние температуры на равновесный выход продуктов обратимых эндотермической и экзотермической реакций.

7. Приведите уравнения теплового баланса адиабатического и политермического

реакторов идеального вытеснения.

8. Объясните понятие устойчивости работы реактора.

Лабораторное занятие № 8. Сушильные установки.

Цель занятия: Рассмотреть основные положения по теме.

Актуальность. Химическая индустрия является важнейшей частью хозяйства России. Поэтому многих волнуют перспективы развития химической промышленности, которые во многом связаны с переоснащением производства. В целом эта отрасль находится сегодня на достойном уровне. Но существуют моменты, требующие реформации. Научные разработки и новейшие технологии открывают много возможностей для химической отрасли. Это касается и оборудования, и сырья, из которого изготавливают продукцию.

Теоретическая часть

Сушкой называется термический процесс удаления влаги из материала, сопровождающийся испарением влаги и изменением его физико-механических свойств. Сушка наиболее дорогостоящий процесс обезвоживания влажных материалов в сравнении с процессами прессования или центрифугирования в

связи с затратами энергии на изменение фазового состояния влаги. Основным назначением сушки влажных материалов является придание им определённых структурно-механических и термических свойств (например, кирпичу, древесине, изоляционным и другим материалам) и увеличение теплоты сгорания ископаемых и вторичных топлив (например, торфа, корьевых отходов, биологического ила). Сушка применяется также с целью консервации и хранения пищевых продуктов (например, сухарей, макарон и других продуктов). Процессы сушки включают в себя тепломассообмен с окружающей средой при испарении влаги, перенос теплоты и массы вещества внутри материала, усадочные процессы. Сушка является не только теплофизическим, но и технологическим процессом, при котором происходят сложные необратимые физико-химические, коллоидно-физические и биохимические изменения материала. Основным признаком классификации сушильных установок является способ подвода теплоты к поверхности высушиваемого материала. Конвективные сушильные установки имеют наибольшее распространение в связи с простотой их конструкции, доступностью сушильного агента, широкими регулировочными способностями и ассортиментом высушиваемых материалов, высоким коэффициентом полезного действия. В этих установках теплота передаётся конвективным способом за счёт непосредственного соприкосновения сушильного агента с материалом. Контактные (кондуктивные) сушильные установки применяются, главным образом, для сушки ленточных волокнистых материалов (ткани, бумага, картон, целлюлоза), а также пастообразных материалов (дрожжи). В таких установках теплота передаётся за счёт непосредственного контакта нагретой металлической поверхности с влажным материалом без дополнительных затрат на передачу энергии от источника к материалу. Они являются высокопроизводительными эффективными установками. Радиационные сушильные установки основаны на принципе передачи теплоты от высоконагретой поверхности влажному материалу с помощью электромагнитных волн. Они применяются, главным образом, для сушки тонких покрытий, например, лакокрасочных покрытий деталей, кровных и клеевых слоёв бумаги и др. Комбинированные сушильные установки включают в себя различные способы подвода теплоты к материалу: радиационноконвективные, контактно-конвективные и др. Они являются наиболее прогрессивными в связи с высокой интенсивностью испарения влаги, получением необходимых качественных показателей материала и минимальными затратами тепловой энергии на сушку. Сушильные установки различаются также по виду применяемых теплоносителей, которыми могут быть воздух, разбавленные продукты сгорания, пар (перегретый или

насыщенный), перегретая вода, высокотемпературные теплоносители. По давлению, под которым находится материал, сушильные установки разделяются на атмосферные, вакуумные, камеры под избыточным давлением. По относительному движению сушильного агента и материала сушильные установки классифицируются на прямоточные, противоточные, с перекрестным током, сопловым обдувом. По принципу циркуляции сушильного агента используются сушильные установки с естественной и принудительной циркуляцией. По конструктивным признакам - камерные, туннельные, ленточные, барабанные, трубчатые сушильные установки.

Порядок выполнения работы:

1. Внимательно изучить конструкции аппаратов.
2. Подготовить краткое описание принципа работы изучаемого оборудования.
3. Ответить на контрольные вопросы.

Вопросы и задания:

Базовый уровень

1. Что такое процесс сушки?
2. Что является основным признаком классификации сушильных установок?
3. Что такое испарение?
4. Что такое кипение?
5. Что такое парциальное давление пара в воздухе?
6. Что такое ненасыщенный влажный воздух?
7. Что такое насыщенный влажный воздух?
8. В каком состоянии находится пар в ненасыщенном влажном воздухе?
9. Что такое психрометрическая разность?
10. Что такое температура точки росы?
11. Что такое температура смоченного термометра?
12. Когда температура по сухому термометру выше температуры смоченного термометра?
13. Что такое термовлажностное отношение, или угловой коэффициент процесса?
14. Какое значение принимает угловой коэффициент в "теоретическом" процессе сушки?
15. Какое значение принимает угловой коэффициент процесса при нагреве воздуха с неизменным влагосодержанием?
16. С какой целью I-d - диаграмма влажного воздуха построена в косоугольной системе координат?

17. Как изменяется атмосферное давление с повышением влажности воздуха?

18 Какой воздух, влажный или насыщенный, имеет большую энтальпию при одинаковой температуре?

Повышенный уровень

1. При сушке каких материалов применяется рециркуляция воздуха?

2. Что такое кратность рециркуляции?

3. Возможна ли рециркуляция без смешения потоков?

4. В чем заключается преимущество схемы с комбинированным нагревом воздуха по сравнению со схемой с разомкнутым циклом?

5. За счет чего происходит интенсификация теплообмена в рециркуляционном процессе?

Лабораторное занятие № 9. Сушильные установки (продолжение).

Цель занятия: Рассмотреть основные положения по теме.

Актуальность. Химическая индустрия является важнейшей частью хозяйства России. Поэтому многих волнуют перспективы развития химической промышленности, которые во многом связаны с переоснащением производства. В целом эта отрасль находится сегодня на достойном уровне. Но существуют моменты, требующие реформации. Научные разработки и новейшие технологии открывают много возможностей для химической отрасли. Это касается и оборудования, и сырья, из которого изготавливают продукцию.

Теоретическая часть

Для сушки высоковлажных низкокалорийных топлив применяют продукты сгорания этих топлив. Топочными газами высушивают железную руду после обогащения, кварцевый песок в литейном производстве, глину и другие влажные материалы. Дымовые газы могут получаться в специально предназначенных для этих целей топочных устройствах или использоваться уходящие продукты сгорания энергетических котельных агрегатов. Основным требованием, предъявляемым к дымовым газам как сушильному агенту, является полнота сгорания топлива, отсутствие химического и механического недожога, загрязняющего высушиваемый материал. Для построения процессов изменения состояния дымовых газов используется I-d диаграмма влажного воздуха, так как продукты сгорания обычно сильно разбавлены воздухом. Теоретический расход (минимальное количество) воздуха, необходимого для сжигания 1 кг твердого или жидкого топлива, определяется в зависимости от элементарного состава топлива

Порядок выполнения работы:

1. Внимательно изучить конструкции аппаратов.
2. Подготовить краткое описание принципа работы изучаемого оборудования.
3. Ответить на контрольные вопросы.

Вопросы и задания:

Базовый уровень

1. Чем высшая теплота сгорания топлива отличается от низшей теплоты сгорания? 2. Зависит ли высшая теплота сгорания от влажности сжигаемого топлива? 3. Будут ли в составе дымовых газов водяные пары при сжигании сухого топлива? 4. В чем основное отличие топок сушильных установок от топок паровых котлов? 5. Какие основные требования предъявляются к дымовым газам как к сушильному агенту? 6. При каком значении скорости обеспечивается максимальная очистка дымовых газов в циклоне? 7. Какие вентиляторы (осевые, центробежные или радиальные) не относятся к вентиляторам высокого давления? 8. Какой основной конструктивный параметр определяется при расчете циклона? 9. Какая оптимальная скорость газов в газоходах? 10. Что такое высшая теплота сгорания топлива? 11. Где больше коэффициент избытка воздуха: в топках котельных агрегатов или в топках сушильных установок?

Повышенный уровень

1. Где ниже тепловое напряжение топочного объема: в топках котельных агрегатов или в топках сушильных установок? 2. Входит ли азот в состав продуктов сгорания твердого топлива? 3. Как влияет повышение коэффициента избытка воздуха в топке котельного агрегата на потери с уходящими газами? 4. Чем обусловлена полнота сгорания топлива? 5. Что такое влагосодержание дымовых газов? 6. Что такое коэффициент избытка воздуха? 7. Что такое температура точки росы? 8. Что такое температура смоченного термометра? 9. Когда температура по сухому термометру выше температуры смоченного термометра? 10. Что такое термовлажностное отношение, или угловой коэффициент процесса? 11. Какое значение принимает угловой коэффициент в "теоретическом" процессе сушки?

Перечень основной литературы:

1. Разинов, А.И. Процессы и аппараты химической технологии Электронный ресурс : учебное пособие / Г.С. Дьяконов / А.В. Клинов / А.И. Разинов. - Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2017. - 860 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. - ISBN 978-5-7882-2154-0, экземпляров неограничено
2. Семакина, О. К. Машины и аппараты для переработки минерального сырья Электронный ресурс : Учебное пособие / О. К. Семакина, Д. А. Горлушко. - Томск : Томский политехнический университет,

2014. - 91 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 978-5-4387-0359-4, экземпляров неограничено

Перечень дополнительной литературы:

1. Борисенко, И. Л. Передовой опыт и интенсификация производства / И. Л. Борисенко. - Воронеж : Изд-во Воронежского ун-та, 1990. - 184 с. - Библиогр.: с. 180-183. - ISBN 5-7455-0438-2.
2. Научно-технический прогресс и интенсификация производства / под ред. А. Е. Когута. - СПб. : Лениздат, 1987. - 168 с. - Библиогр.: с. 166-167.