Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 04.09.2025 21:51:54
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39532b1a69e37 5e9434e489106b5b6f89

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра фундаментальной химии и химической технологии

УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по учебной работе
_____ О.Г. Локтионова
«27» 06 2025 г.

Дополнительные главы процессов и аппаратов

Методические указания по подготовке и выполнению лабораторных работ для обучающихся, осваивающих ОПОП ВО – программы магистратуры, реализуемые по модели «перевернутого обучения»

Курск – 2025

УДК 66.011

Составитель: Г.В.Бурых

Рецензент
доцент Пожидаева С.Д.

Дополнительные главы процессов и аппаратов: методические указания по подготовке и выполнению лабораторных работ для обучающих, осваивающих ОПОП ВО – программы магистратуры, реализуемые по модели «перевернутого обучения» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Г.В.Бурых – Курск, 2025. – 27 с.:– Библиогр.: с. 20.

Методические указания структурированы по темам дисциплины, знакомят обучающихся с алгоритмом, применяемым при реализации ОПОП ВО по модели «перевернутого обучения»; содержанием самостоятельной работы обучающихся по освоению каждой темы дисциплины и планом проведения каждого занятия; включают методики, вопросы и задания для аудиторной работы.

Предназначены для обучающихся по направлению подготовки 18.04.01 Химическая технология по очной форме обучения по ОПОП ВО – программам магистратуры, реализуемым по модели «перевернутого обучения», осваивающих дисциплину «Дополнительные главы процессов и аппаратов».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 24.06.25 Формат 60x84 1/16.
Усл.печ. л. 1,56 Уч.-изд. л. 1,42.
Тираж 100 экз. Заказ 850 Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Содержание

Пояснительная записка	4
Требования к отчету по лабораторным работам	10
Лабораторная работа №1. Количественные характеристики статей материального баланса разделения неоднородных систем: жидкость -твёрдое тело	11
Лабораторная работа №2. Процесс адсорбции в зависимости от природы её лимитирующей стадии	13
Лабораторная работа №3. Экспериментальное определение скорости сушки	15
Лабораторная работа №4. Изучение процесса испарения растворителя	18
Библиографический список	20
Вопросы для подготовки	21

Пояснительная записка

Освоение дисциплины «Процессы массопереноса» в рамках ОПОП ВО – программы магистратуры, реализуемой в ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» по модели «перевернутого обучения», имеет свои особенности, связанные со спецификой данной модели. Главная из них состоит в том, что контактная работа обучающихся с преподавателем включает в себя только лабораторные и практические занятия.

Занятия лекционного типа по дисциплине отсутствуют.

Организовать работу по изучению каждой темы обучающемуся поможет знание алгоритма, применяемого при реализации «перевернутого обучения». Алгоритм освоения каждой темы дисциплины включает 6 последовательно совершаемых шагов или этапов, первый из которых осуществляется дистанционно, остальные – очно, на практических и лабораторных занятиях:

1. Внеаудиторная (домашняя) самостоятельная работа студентов: предварительное (до начала первого практического занятия по теме) самостоятельное изучение обучающимися теоретического учебного контента по новой теме дисциплины.

2. Входной контроль качества освоения обучающимися основных положений темы (входной контроль знаний) в виде тестирования (проводится очно в начале первого аудиторного занятия по данной теме в присутствии преподавателя.

3. Уточнение и (или) углубление отдельных сложных и (или) спорных вопросов на практическом занятии в рамках групповой консультации или индивидуальных консультаций.

4. Выполнение практических заданий. Работа обучающихся в малых группах по технологии ротации станций и другим технологиям.

5. Проверка практических заданий, выполненных обучающимися.

6. Текущий контроль успеваемости по изученной теме.

Приступая к изучению дисциплины, обучающемуся необходимо ознакомиться с нижеследующим описанием алгоритма, которым он будет пользоваться в дальнейшем.

1-й этап. При реализации ОПОП ВО – программы магистратуры по модели «перевернутого обучения» огромное значение при-

обретает первый из указанных выше этапов – этап предварительного самостоятельного освоения темы по учебно-методическим материалам, разработанным преподавателем и представленным в цифровом формате на портале **do.swsu.ru** в виде:

– инструкции (или памятки) для обучающегося о порядке организации самостоятельной работы по изучению данной темы, которая включает также перечень теоретических вопросов, необходимых для самостоятельного изучения;

– текста с изложением всех теоретических вопросов темы, указанных в инструкции;

– мультимедийной презентации по данной теме;

– видеороликов по отдельным вопросам данной темы.

Обучающийся имеет доступ к теоретическому учебному контенту по теме в режиме 24 / 7 и может ознакомиться с ним в любое удобное для него время в любом месте (как находясь в университете, так и за его пределами) в наиболее комфортном для него темпе, при необходимости останавливаясь в любом месте и делая паузы. Обучающийся может повторно обратиться к указанным материалам и просмотреть их неограниченное количество раз. Также обучающийся может пользоваться данными материалами непосредственно на лабораторном занятии.

Цель обучающегося на первом этапе – понять и запомнить теоретический учебный материал по изучаемой теме.

В начале работы по изучению теоретического учебного контента по новой теме необходимо прочитать инструкцию преподавателя. В инструкции приводится перечень теоретических вопросов, которые должен изучить обучающийся по конкретной теме, и предлагается порядок организации самостоятельной работы обучающегося по изучению данной темы. Перечисленные вопросы являются обязательными для изучения. Заданного в инструкции порядка организации самостоятельной работы рекомендуется придерживаться, но обучающийся имеет право адаптировать данный порядок для себя.

Подробно конспектировать изученный теоретический материал не требуется, но при работе с текстом для лучшего запоминания и усвоения учебной информации обучающимся предлагается фиксировать термины, основные теоретические положения, записывать

формулы, ключевые слова в виде опорного конспекта или ментальной карты (интеллект-карты). (Ментальная карта (от англ. «mind map») – современный и распространенный в мире метод визуального представления идей, задач, концепций и любой другой информации**.** Это схема визуального представления информации, которая отражает взаимосвязь между несколькими элементами. Структура карты внешне напоминает дерево: в центре располагают основную идею, тему, проблему, ключевое слово, вопрос и т.п., а от нее (него) в разные стороны разводят «ветви» (стрелки), каждая из которых визуализирует связанные с главной (главным) термины, наименования, формулы, аргументы, примеры, выводы и др.)).

После тщательного изучения материалов, представленных преподавателем, обучающийся может продолжить работу над темой по источникам, указанным в разделах 8-9, 11 рабочей программы дисциплины. Самостоятельная работа с дополнительной литературой (учебной, справочной, научной), материалами периодических изданий и Интернета способствует более глубокому усвоению изучаемого материала. При работе с источниками и литературой необходимо:

– сопоставлять, сравнивать, классифицировать, группировать, систематизировать информацию в соответствии с определенной учебной задачей;

– обобщать полученную информацию, оценивать прочитанное;

– фиксировать основное содержание прочитанного текста; формулировать устно и письменно основную идею текста; составлять план, формулировать тезисы.

По завершении самостоятельного изучения темы целесообразно в качестве самоконтроля вслух пересказать положения, указанные преподавателем в инструкции как вопросы, обязательные для изучения. Необходимо добиться глубокого, осознанного освоения содержания темы и свободного владения им, в том числе терминологией.

2-й этап. После изучения темы обучающийся выполняет входное тестирование (не является формой текущего контроля успеваемости, но является обязательным). В одном варианте входного тестирования, как правило, 15 вопросов во всех 4 формах,

представленных в подразделе 7.3.1 рабочей программы дисциплины. Входное тестирование оценивается по дихотомической шкале: «прошел входное тестирование» / «не прошел входное тестирование». При получении отрицательной оценки необходимо еще раз перечитать и просмотреть все теоретические учебные материалы, представленные преподавателем в цифровом формате, и пройти входное тестирование повторно до получения положительного результата.

3-й этап. По результатам самостоятельной работы и входного тестирования обучающийся определяет непонятные, и (или) сложные для него, и (или) спорные вопросы; преподаватель со своей стороны также по результатам входного тестирования устанавливает вопросы, которые необходимо уточнить и (или) углубить на практическом занятия для всей группы или для нескольких конкретных студентов. Данные вопросы могут быть рассмотрены концентрированно в начале занятия или постепенно в ходе всего занятия в рамках групповой консультации или индивидуальных консультаций (в зависимости от количества обучающихся, нуждающихся в дополнительных пояснениях преподавателя в каждом конкретном случае). Индивидуальная работа с каждым обучающимся поможет оперативно ликвидировать пробелы в его знаниях.

4-й этап является главным и самым продолжительным этапом практического занятия. Работа обучающихся на данном этапе, как правило, организуется в малых группах (3-5 человек) по технологии ротации станций, но также может организовываться и по иным технологиям.

При реализации технологии ротации станций пространство аудитории условно или буквально делится на несколько станций, количество которых совпадает с количеством малых групп.

На одной из станций группа работает с преподавателем, на других – самостоятельно. На всех остальных станциях группа выполняет одно общее практическое задание или все члены группы выполняют индивидуальные, но однотипные, похожие практические задания.

Задания на станциях направлены на формирование у обучающихся когнитивных умений и навыков всех уровней, начиная с низкого до высокого в приведенном ниже порядке:

– понимание основных положений данной темы;

– применение полученных самостоятельно знаний в конкретной производственной ситуации;

– анализ и синтез информации или каких-либо данных;

– оценку информации, данных, объектов, субъектов и т.д.;

– создание нового на основе полученных знаний, умений и навыков.

На всех станциях имеются необходимые для выполнения задания материалы (учебная, учебно-методическая и (или) научная литература; ГОСТы или иные стандарты, нормативы и требования; чертежи, схемы, графики, диаграммы, таблицы; лабораторное оборудование; компьютеры; инструкции, памятки и т.д.).

Время работы групп на одной станции строго ограничено, одинаково для всех станций и устанавливается преподавателем: 10, 15, 20, 25 минут или иное. По наступлении дедлайна группы по часовой стрелке переходят на следующую станцию и выполняют практическое задание этой станции.

Таким образом, в течение практического занятия каждая группа проходит все станции, в том числе ту, на которой устно отвечает на вопросы преподавателя. Преподаватель, общаясь поочередно со всеми группами, определяет уровень освоения и понимания темы каждым студентом, и дает необходимые индивидуальные консультации. Каждая группа, поработав на всех станциях, выполняет полный пакет практических заданий, подготовленных преподавателем для данного лабораторного занятия.

5-й этап. В самом конце или лабораторного занятия озвучиваются и коллективно обсуждаются решения всех практических заданий. Группы выступают поочередно: каждая предлагает свое решение задания той станции, на которой в данный момент находится, в обсуждении которого участвуют все остальные группы.

6-й этап. Текущий контроль успеваемости по изученной теме осуществляется, как правило, в конце последнего лабораторного занятия по данной теме или постфактум дистанционно. Формы текущего контроля успеваемости указаны в таблице 4.1.2 рабочей программы дисциплины; в полнотекстовом виде оценочные средства приведены в оценочных средствах для текущего контроля зна-

ний и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине «Процессы массопереноса».

При подготовке к промежуточной аттестации по дисциплине необходимо повторить основные теоретические положения каждой изученной темы и основные термины, самостоятельно решить несколько типовых компетентностно-ориентированных задач. Доступ обучающихся к теоретическому учебному контенту, представленному в цифровом формате, дедлайнами не ограничен и возможен как при подготовке к промежуточной аттестации по дисциплине, так и в течение всего периода освоения ими ОПОП ВО, реализуемой по модели «перевернутого обучения».

Требования к отчету по лабораторным работам

Работы предназначены для закрепления теоретических знаний по дисциплине «Процессы массопереноса» с целью формирование у студентов современных представлений об обязательных в любом химическом процессе стадий массопереноса на должном макрокинетическом уровне, их научных основах и перспективных направлениях, освоение принципов составления математических моделей обозначенного процесса, а также оперирования такими моделями для получения необходимых результатов в химической практике

В методических указаниях излагаются требования к подготовке и проведению лабораторных работ, написанию отчета в плане его построения и оформления.

В методику включено порядок выполнения эксперимента, методы обработки и анализа полученных результатов работы с целью освоения различных методов физико-химического исследования, получения навыков математической обработки экспериментальных данных и объяснения выявленных закономерностей.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Используемые приборы и оборудование: схема, порядок работы на приборах.
3. Используемая в работе посуда и принадлежности.
4. Описание объекта исследования и его свойства.
5. Методика выполнения эксперимента с указанием конкретных действий.
6. Пооперационная схема процесса.
7. Технологическая схема процесса.
8. Таблицы, графики, оформленные в соответствии с ГОСТ.
9. Выводы.

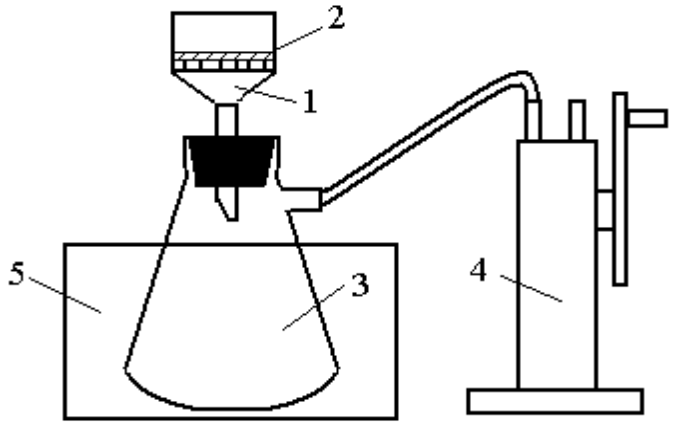
Лабораторная работа № 1

Количественные характеристики статей материального баланса разделения неоднородных систем: жидкость -твёрдое тело

Цель работы: познакомиться с захватом и удерживанием жидкой фазы и(или) ее составляющих твердой фазой и количественно оценить масштабы такого захвата в зависимости от происхождения твердой фазы.

Фильтрование –один из распространенных методов отделения твердой фазы системы от ее жидких составляющих. При этом получается влажный осадок и фильтрат. Количество удерживаемой твердой фазой осадка жидких компонентов зависит от происхождения твердой фазы. Оно минимально при образовании твердой фазы в процессе медленной кристаллизации, сопровождающейся образованием кристаллов больших размеров и с четкой структурой. Гораздо больше захват и удерживание жидкой фазы при образовании твердой фазы в виде мелких кристаллов в процессе быстрой кристаллизации, при тонком измельчении твердых материалов в присутствии жидкой фазы, как продуктов в ряде химических превращений и т.д. Следовательно, процесс фильтрования сопровождается образованием на фильтре загущенных суспензий, которые не всегда удается быстро разрушить последующим уплотнением осадка.

Схема установки для фильтрования твердой фазы системы представлена на рисунке и представлена воронкой Бюхнера, вставленной в колбу Бунзена. В качестве фильтрующей перегородки используется соответствующих размеров. Разряжение в приемнике фильтрата создается с помощью насоса Камовского. Для предотвращения отрицательных последствий при случайном создании глубокого вакуума или удара, колбу помещают в защитный чехол.



1- воронка Бюхнера, 2- бумажный фильтр, 3 - колба Бунзена, 4 - насос Камовского, 5- защитный чехол

Рисунок - Принципиальная схема установки для фильтрования под вакуумом

Порядок выполнения работы

1. Получить реакционную смесь на разделение:

- выпавшие из пересыщенного раствора и хорошо сформировавшаяся в процессе перекристаллизации кристаллы;
- выпавшие из пересыщенного раствора при быстрой кристаллизации кристаллы;
- осажденная из раствора твердая фаза,
- твердая фаза, образующаяся в процессе химического превращения;
- тонкодисперсная суспензия, получаемая в процессе тонкого измельчения в присутствии жидкой фазы;
- иного происхождения

2. Предложить обоснованно способ ее разделения. Для этого в отчете по лабораторной работе представить краткую характеристику известных способы разделения систем данного типа, сравнить их эффективность в данных условиях и обосновать выбор своего метода.

3. Составить подробную методику поведения разделения реакционной смеси.

4. Провести разделение реакционной смеси, в сочетании с по-

лучением данных для составления материального баланса, используя пооперационную схему, представленную на схеме.

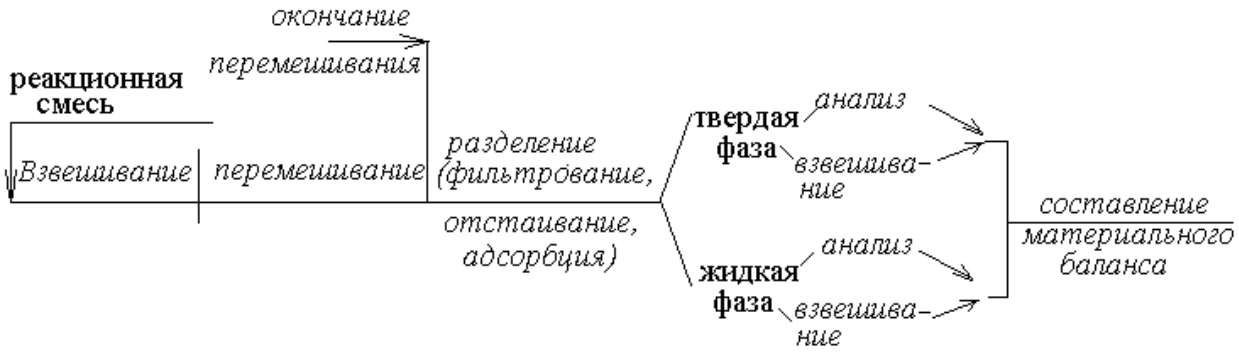


Рисунок – Пооперационная схема для выполнения лабораторной работы

5. Составить материальный баланс выполненного процесса (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты составления материального баланса

Масса суспензии, г	фильтрат			Масса осадка, г	сухой остаток, %	Результаты иных анализов
	Масса, г	сухой остаток, %	Результаты иных анализов			

6. Составить пооперационную в соответствии с выбранным способом разделения и на ее основе технологическую схему процесса и внести в отчет.

7. Сделать соответствующие выводы и оформить отчет по работе.

Лабораторная работа №2

Процесс адсорбции в зависимости от природы её лимитирующей стадии

Цель работы: познакомиться с техникой проведения эксперимента, получить необходимые данные для получения кинетического уравнения адсорбции.

Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя предназначенный для адсорбции раствор и адсорбент.

2. Обосновать метод анализа содержания растворенного вещества в растворе (титрометрический, спектрофотометрический). Для этого в отчете по лабораторной работе представить краткую характеристику известных способов определения концентрации анализируемого вещества, сравнить их эффективность в данных условиях и обосновать выбор своего метода. При необходимости построить калибровочный график.

3. Взвесить требуемое количество адсорбента.

4. Внести адсорбент в анализируемый раствор, зафиксировать этот момент за начало процесса.

5. Через определенные промежутки времени определять содержание анализируемого вещества в растворе. Количество измерений должно быть не меньше 5. Результаты анализов свести в таблицу.

Таблица – Результаты эксперимента

Показатель	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт n
Температура, ^{0}C				
Время, мин				
Оптическая плотность				
Концентрация, г/л				
Концентрация, г/г				
Сорбция, %				

6. В момент, когда концентрация анализируемого вещества в растворе перестанет изменяться, процесс прекратить.

7. Построить изотерму адсорбции.

8. Используя известные адсорбционные уравнения, получить кинетические параметры сорбции.

9. По уравнению Фрейндлиха определить эффективность используемого адсорбента.

10. При необходимости составить материальный баланс выполненного процесса.

11. Составить пооперационную и на ее основе технологическую схему процесса и внести в отчет.

12. Сделать соответствующие выводы и оформить отчет по работе.

Лабораторная работа №3

Экспериментальное определение скорости сушки

Цель работы: на примере контактной сушки полученных в процессе фильтрования и предварительно измельченных твердых осадков ознакомиться с кинетическими закономерностями процесса.

Сушка твердых материалов является распространенной операцией как в промышленности, так и лаборатории. В последней доминирует контактная сушка в периодическом варианте исполнения. В процессе сушки удаляется сорбированная, захваченная вода, либо другой растворитель. Обычно изменения агрегатного состояния и других фазовых переходов не происходит. Но если последние имеют место, то имеют место варианты осложненной сушки.

К наиболее часто встречающимся вариантам осложнения относят: плавление твердой фазы, сопровождающееся потерей кристаллизационной воды; растворение твердой фазы в захваченном ею растворителе при повышении температуры, возгонка твердого вещества и т.д.

Такие явления влияют на скорость сушки и коренным образом ее изменяют.

Чтобы воспользоваться основным уравнением кинетики сушки, необходимо знать зависимость влагосодержания тела от времени. Эту зависимость можно получить, решая систему дифференциальных уравнений тепло- и массопереноса. Задача является достаточно сложной, так как существенно нелинейна. Поэтому на практике при кинетических расчетах используют приближенные уравнения. Одной из зависимостей, широко освещенной в литературе, является уравнение Г. К. Филоненко (1) для приведенной скорости сушки

$$\phi = -\left(\frac{1}{N}\cdot\frac{dC}{d\tau}\right) = \frac{\left(C - C_p\right)^n}{A + B\left(C - C_p\right)^n} \qquad (1)$$

где ϕ -приведенная скорость сушки;

N –скорость сушки в первом приближении;

A, B, n –постоянные, определяемые из опыта

Согласно теории Г. К. Филоненко, коэффициент n характеризует форму связи влаги с материалом и не зависит от размеров и формы образца. Коэффициенты A и B зависят от толщины материала. Для определения времени сушки по этому уравнению необходимо знать четыре постоянные, что затрудняет его практическое использование. А.В. Лыков предложил метод замены действительной кривой скорости сушки в период падающей скорости, имеющей сложный вид, в результате чего уравнение кривой скорости сушки тогда будет иметь вид

$$-\frac{dC}{d\tau} = K\left(C - C_p\right) \qquad (2)$$

$$K = \frac{N}{\left(C_{KB} - C_p\right)} = \chi N \qquad (3)$$

где К- коэффициент пропорциональности или коэффициент сушки,

χ - относительный коэффициент сушки, зависит от свойств материала и начальной его влажности;

$C_{КВ}$ – критическое приведенное влагосодержание. Интегрирование уравнения дает

$$\frac{\left(C - C_p\right)}{\left(C_{KB} - C_p\right)} = e^{-\chi N\tau} \qquad (4)$$

Порядок выполнения работы

1. Получить подробное задание на эксперимент и материал, предназначенный для сушки. Определить его массу и выполнить

входной контроль на содержание летучего растворителя.

2. Установить регулятор температуры термошкафа на требуемое значение и начать прогрев. При достижении требуемой температуры, установить на одну из полок емкость с высушиваемым материалом, предварительно измельчив осадок с помощью шпателя.

3. Через определенные промежутки времени емкость с высушиваемым материалом вынимать из термошкафа и взвешивать, после чего снова помещать в сушильный шкаф, при необходимости разрыхляя шпателем, не допуская потерь за счет просыпания, разбрасывания и т.д. Полученные результаты занести в таблицу 10.

4. Минимальное число контрольных взвешиваний должно быть не менее 4 (не считая исходного). Все замеченные изменения сразу заносить в таблицу.

Таблица 2 – Результаты изучения контактной сушки образцов

Время контрольного взвешивания (по часам)		Время от начала эксперимента, мин*	Масса высушиваемого материала с тарой, г	Масса высушиваемого материала, г	Изменение внешнего вида высушиваемого материала,
Начало (выемка из термошкафа	Окончания (постановка в термошкаф)				

*-время контрольных взвешиваний не учитывается

5. Операцию по п.5 продолжать до тех пор, пока 2-3 контрольных измерения перестанут изменяться. Образец достать, сушильный шкаф отключить.

6. Оценить, сколько летучего вещества было удалено в процессе сушки. Построить кинетические кривые изменения массы высушиваемого материала и изменения массы удаляемого растворителя.

7. Построить кинетические кривые изменения массы высушиваемого образца и изменения массы удаляемого растворителя.

8. Определить кинетические параметры сушки графическим дифференциированием кинетических кривых.

9. Охарактеризуйте режим протекания сушки в условиях проводимого опыта

10. Посчитать значение критического влагосодержания

11. Составить пооперационную и на ее основе технологическую схему процесса и внести в отчет.

12. Составить материальный баланс выполненного процесса.

13. Сделать соответствующие выводы и оформить отчет.

Лабораторная работа №4

Изучение процесса испарения растворителя

Цель работы: оценить скорость уноса растворителя из фильтрата в зависимости от его состава

Порядок выполнения работы

1. Получить подробное задание на эксперимент и фильтрат, подлежащий исследованию.

2. Записать сведения о его составе и времени происхождения.

3. Оценить цвет, интенсивность окраски, мутность, наличие локализованной твердой фазы и прочие органолептические показатели. Если есть твердая фаза, отделить фильтрованием. Определить массу фильтрата.

4. Определить pH и провести входной анализ на сухой остаток. Результаты занести в таблицу.

Таблица - Результаты входного контроля

	Фильтрат			Описание фильтрата					
	дата	название	состояние	Масса, г	pH	масса$_0$, г	масса$_1$,г	масса$_2$,г	CO,%

5. Поставить фильтрат во взвешенной емкости (без тарирования) на испарение. Емкость в виде стакана с прозрачными стенками (никаких наклеек не должно быть). Избегать прямых солнечных лучей.

6. Периодически через каждые 2-3 часа стакан с фильтратом взвешивать, определять потери массы и фиксировать, что происходит в системе (помутнение, выпадение твердой фазы, изменение

цвета и т.д.). Взять пробы на анализ (сухой остаток, содержание кислоты и т.д.) и выполнить его. Результаты занести в таблицу.

Таблица - Результаты анализов

№	Фильтрат	Условия	Кинетика испарения				Анализ		
			Время, час	масса$_0$, г	масса$_1$,г	Δ, г	pH	CO, %	изменения

Если опыт нельзя продолжить, тщательно закрыть крышкой и продолжить в другой раз. Испарение проводить до полного удаления жидкой фазы.

7. В случае выпадения твердой фазы, фиксировать ее массу, записывая время и массу (после высыхания).

8. Условия испарения:

- со спокойного зеркала поверхности;
- при перемешивании магнитной мешалкой без подогрева;
- -магнитная мешалка с подогревом и поддержанием температуры на определенном уровне;
- -с подогревом на определенном уровне и затем охлаждением при работающей магнитной мешалке.

Внимание! 1) Содержащие летучие кислоты фильтраты обрабатывать только под тягой, контролируя унос кислоты не только по анализу, но и смоченной водой индикаторной бумажки;

2) на ночь и несколько дней реактор открытым не оставлять во избежание неконтролированного испарения с проскоком ожидаемых потерь массы вплоть до полного испарения растворителя;

3) под тягой место работы не должно сильно «путешествовать». В противном случае скорости потери растворителя будут заметно колебаться, что придется учитывать при обработке.

4) форсировать ускоренное уменьшение массы реакционной смесив реакторе не целесообразно, а во многих случаях и просто вредно, поскольку усложняется обработка полученных данных.

9. Построить зависимость «Сухой остаток =f(τ)» в разных условиях испарения (вне и под тягой).

10. Оценить динамику изменения pH по мере уменьшения объема реакционной смеси за счет растворителя и, динамику кристаллизации сопутствующих компонентов реакционной смеси (до-

бавок и продуктов их превращения, например, основных солей аммония, переходных металлов и т.д.);

11. Оценить зависимость скорости уноса растворителя от величины и состава сухого остатка

Библиографический список

1. Новый справочник химика и технолога. [Текст] в 2 томах. Том I. Химическое равновесие. Свойства растворов. СПб.: Профессионал. 2004. 998 с

2. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987.-576 с.

3. Флореа О., Смигельский О. расчеты по процессам и аппаратам химической технологии. – М.: Химия, 1971.-448 с.

4. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов.Часть 2. Массообменные процессы и аппараты. – М.: Химия, 1995.-368 с.

Вопросы для подготовки

1. Классификация процессов массопередачи со свободной границей раздела фаз.
2. Способы выражения состава фаз.
3. Схемы материального баланса массообменного процесса со свободной границей раздела фаз.
4. Сформулируйте первый закон Фика. От чего зависят коэффициенты молекулярной диффузии, его физический смысл?
5. В чем состоят различия в переносе вещества конвекцией и массоодачей?
6. Раскройте физический смысл коэффициента массотдачи.
7. Охарактеризуйте основные модели массопереноса (пленочная, диффузионного пограничного слоя, обновления поверхности фазового контакта).
8. Охарактеризуйте подобие массообменных процессов. Раскройте физический смысл критериев подобия массообменных процессов.
9. Сформулируйте понятие движущей силы массообменных процессов.
10. Запишите уравнение массопередачи. Покажите связь и различие коэффициентов массопередачи и массоодачи.
11 Понятие лимитирующей стадии процесса массопередачи
12 Определение высоты массообменного аппарата с помощью уравнения массопередачи.
13 Физический смысл объемного коэффициента массопередачи. Его использование для определения высоты массообменного аппарата.
14 Определение высоты массообменного аппарата с помощью числа и высоты единиц переноса.
15 Определение высоты массообменного аппарата с помощью теоретической ступени изменения концентрации.
16 Сформулируйте принципы процессов абсорбции и десорбции. Для решения каких практических зада применяются эти процессы?
17 Закон Генри и закон фазового равновесия при абсорбции
18 Как составляется материальный баланс абсорбции. Раскройте понятие рабочей линии процессов абсорбции и десорбции.
19 Абсорбция как массообменный процесс.

20. Сущность абсорбции и ее возможности в химической практике.
21. Использование абсорбции при решении практических задач.
422 Минимальные и оптимальные удельные расходы абсорбента. Как влияет изменение удельного расхода абсорбента на расход абсорбента и объем абсорбера.
23 . Наиболее распространенные формы записи закона фазового равновесия при абсорбции.
24 Материальный баланс абсорбера.
25 Тепловой баланс абсорбера.
26 Влияние температуры на процесс абсорбции.
27 Методы поддержания изотермического режима при абсорбции.
28 Кинетические уравнения процесса абсорбции.
29 Особенности кинетики процессов абсорбции и хемосорбции
30 Основные требования к абсорбционным аппаратам. Классификация аппаратов.
31 Принцип действия пленочных абсорберов.
32 Характеристики работы противоточных и прямоточных пленочных абсорберов.
33 Принцип действия насадочных колонн. Почему насадку на высоте аппарата обычно располагают секциями? Охарактеризуйте методы улучшения смачивания насадки.
34 Особенности гидродинамических режимов работы насадочных колонн. Почему большинство насадочных абсорберов работают в пленочном режиме.
35 Сопоставьте поверхность насадки со смоченной и активной поверхностями.
36 Сопоставьте противоточные и прямоточные схемы работы насадочных абсорберов.
37 Особенности гидродинамических режимов работы тарельчатых абсорберов. Какой режим является оптимальным для проведения абсорбции?
38. Чем объясняется гидродинамическая неравномерность по длине тарелок с переточными устройствами
39 Сравнительная характеристика распыливающих абсорберов.
40 Основные показатели при выборе конструкции абсорбера для проведения конкретного процесса абсорбции.
41. Порядок расчета абсорберов.
42 Прямоточная схема абсорбции

43 Противоточная схема абсорбции
44 Сравнительная характеристика противоточной и прямоточной схем.
45 Схема многоступенчатой абсорбции
46 Абсорберы. Классификация.
47 Устройство и принцип действия абсорберов.
48 Вклад внешней диффузии в общий массоперенос в системах с твердой фазой. Запишите уравнение массоотдачи для массопереноса между жидкостью (газом) и твердой средой.
49 Массоперенос в твердой пористой фазе. Классификация пор по размерам. Определение коэффициента извилистости пор.
50 Уравнение диффузии в порах. Условия образования конвективной диффузии в порах.
51 Как определяются потоки свободной и кнудсеновской диффузии?
52 Запишите уравнение массопередачи для систем с участием твердой фазы. Как выражается коэффициента массопередачи для таких систем?
53 Коэффициент массопередачи в зависимости от способа выражения движущей силы.
54 Нанесение рабочих линий на X-Y диаграмму и графическое определение движущей силы процесса.
55 Средняя движущая сила в конкретном абсорбере и заданными направлениями движения материальных потоков.
56 Назовите наиболее рациональные области применения адсорбции.
57 Сущность статической и динамической активности адсорбентов.
58 Адсорбционный потенциал
59 Равновесие при адсорбции. Принцип построения изотерм адсорбции.
60 Материальный баланс адсорбции.
61 Особенности кинетики процесса равновесной адсорбции.
62 Устройство и принцип действия адсорберов с неподвижным слоем адсорбента
63 Устройство и принцип действия адсорберов с псевдосжиженным и плотным движущимися слоями адсорбента.
64 Принцип расчет и стадии расчета адсорберов
65 Что такое воздушная сушка покрытий?

66 Перечислить основные стадии процесса сушки и провести классификацию с точки зрения основных процессов химической технологии.
67. Как меняются природа и соотношение конкурентных способностей промежуточных стадий воздушной сушки покрытий.
68 Как сочетаются термоокислительная кислородная полимеризации и окислительное старении в воздушной сушке покрытий и их дальнейшей эксплуатации?
69 Какова роль солей переходных металлов в воздушной сушке покрытий?
70 Какова роль твердой фазы в воздушной сушке покрытий?
71 Специфика воздушной сушки в зависимости от природы пленкообразующего.
72 Сушка как десорбция влаги из материала.
73 Свободная и связанная влага.
74 Химически связанная вода
75 Характеристика окружающего воздуха.
76 Абсолютная и относительная влажность.
77 Влагосодержание.
78. Температура сухого и мокрого термометра.
79 Точка росы.
80 Десорбция и адсорбция влаги.
81 Равновесная влажность материала и ее зависимость от относительной влажности воздуха.
82 Изотермы адсорбции и десорбции влаги.
83 Кривая фазового равновесия для сушки: области удаления свободной и связанной влаги и увлажнения материала.
84 Необходимые условия для протекания сушки.
85 Различие между абсолютной и относительной влажностью воздуха. Понятие о влагосодержании и энтальпии влажного воздуха.
86. Основные виды связи влаги с материалом
87 Принципы построения диаграммы состояния влажного воздуха. Как определяются параметры влажного воздуха с помощью этой диаграммы?
88 Особенности материального баланса конвективной сушки
89 Как определяется расход воздуха (общий и удельный) на сушку?
90 Скорость сушки. Основные уравнения, которым следует скорость сушки.

91 Основные способы сушки.
92 Контактная сушка.
93 Конвективная сушка.
94 Материальные балансы контактной и конвективной сушки.
95 Специальные виды сушки.
96 Тепловые балансы контактных сушилок периодического действия
97 Тепловые балансы конвективных сушилок периодического действия.
98Тепловые балансы контактных сушилок непрерывного действия.
99 Кинетические закономерности конвективной сушки.
100 Первый и второй периоды периодического варианта и их характеристика.
101 Устройство и принцип действия контактных сушилок.
102 Преимущества и недостатки контактных сушилок.
103 Устройство и принцип действия наиболее распространенных конвективных сушилок.
104 Преимущества и недостатки конвективных сушилок.
105 Специфические особенности сушки как массообменного процесса.
106 Способы выражения движущей силы процесса сушки
107 На чем основано определение коэффициентов массоотдачи для условий внешней и внутренней диффузии?
108 Как определяются области, лимитирующие общий процесс массопереноса при сушке?
109 На чем основано определение поверхности тепло-и массообмена для первого и второго периода сушки?
110 Методы интенсификации процессов сушки
111 Что понимается под перегонкой жидкостей. Виды простых перегонок.
112 Принцип составления материального баланса при перегонке.
113 Что такое азеотропные смеси.
114 В чем сущность азеотропной отгонки?
115 В чем сущность азеотропной ректификации?
116 Нарисуйте X-Y диаграмму для азеотропной смеси и объясните ее смысл.
117 Сущность молекулярной дистилляции. В каких случаях целесообразно ее применение?

118 Принцип ректификации.
119 Какие аппараты применяют для проведения процессов ректификации? В чем их отличие от абсорберов?
120 Материальный баланс при ректификации
121 Как определяется минимальное и рабочее флегмовое число? Как влияет флегмовое число на высоту ректификационной колонны?
122 Принцип построения кривой равновесия и рабочей линии. Как с помощью такой диаграммы определить высоту ректификационной колонны?
123 Тепловой баланс ректификационной колонны. Как определяется расход греющего пара для проведения ректификации? Какие способы экономии расхода теплоты возможны в ректификационной колонне?
124 Оптимальное флегмовое число.
125 Определение высоты и диаметра ректификационной колонны.
126 Особенности расчета многокомпонентной ректификации
127 Области использования азеотропных смесей в промышленности и лабораторной практике.
128 Эмульсии и их характеристики.
129 Особенности составления материальных балансов жидкостной экстракции при взаимной нерастворимости и при частичной взаимной растворимости. Рабочие линии этих процессов.
130 Основы кинетики процесса жидкостной экстракции, лимитирующие стадии процесса
131 Принципы интенсификации жидкостной экстракции
132 Способы проведения экстракции
133 Выбор скорости сплошной фазы при расчете диаметра колонных экстракторов.
134 Изобразите процесс непрерывной противоточной экстракции на треугольной и прямоугольной диаграммах
135 Расчет высоты колонных экстракторов
136 Особенности экстракционных установок с регенерацией экстракта.
137 Что понимается под процессами растворения и экстрагирования в системе твердое тело- жидкость?
138 Уравнение материального баланса для непрерывного и периодического процесса растворения.

139 Уравнение кинетики растворения. Определение параметров, входящих в уравнение.
140 Основные закономерности растворения твердой фазы в жидкости как массообменного процесса
141. Время полного растворения и его определение в замкнутом аппарате при прямотоке и противотоке.
142 Уравнение материального баланса экстрагирования растворенного вещества при прямотоке и противотоке.
143 Определение длины экстракционного аппарата для обеспечения заданной концентрации экстрагируемого вещества в твердом теле.
144 Распределение концентраций в твердом теле при экстрагировании вещества из этого тела.
145 Определение полного экстрагирования твердого вещества.
146 Способы экстрагирования и растворения.
147 Устройство и принцип действия аппаратов для экстрагирования и растворения.
148 Кристаллизация. Достоинства и недостатки.
149 Изотермический и изгидрический методы кристаллизации. В каких случаях целесообразно применение этих методов?
150 Материальный и тепловой балансы кристаллизации
151 Анализ диаграммы газ-жидкость-твердое тело.
152 Особенности кинетики кристаллизации. Уравнение массопередачи и массотдачи для кристаллизации.
153. Опишите процессы разделения растворов частичной кристаллизацией.
154 Почему обезвоживание системы путем азеотропной отгонки воды более эффективно, чем простая перегонка?
155 Зачем для удаления кристаллизационной воды требуется плавление твердых солей?
156 В чем сущность методов удаления растворенной и сорбированной твердой фазой воды
157 В чем сущность методов удаления кристаллизационной воды?
158 Методы обезвоживания.
159 В чем сущность и различие в удалении свободной, сорбированной твердой фазы и кристаллизационной воды?
160 Как определяют число ступеней разделения при разделении растворов методом фракционной кристаллизации?