

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение
высшего образования
«Челябинский государственный университет»

Основы химической технологии

*Методические указания
к лабораторным работам*

Челябинск, 2018

Одобрено на заседании кафедры химической технологии и вычислительной химии.

Методические указания включают цикл лабораторных работ по химической технологии. Указания предназначены для студентов химического факультета университета обучающихся по специальности 04.05.01. «Фундаментальная и прикладная химия».

Составители: к.х.н. Кимяшов А.А., к.х.н. Сыромолотов А.В.

Введение

Изучение химической технологии в университете строится на сочетании лекций, семинарских занятий и лабораторных работ. Лабораторный практикум предназначен для развития умений и навыков в практической инженерно-исследовательской работе с конкретными процессами.

При выполнении лабораторных работ студент экспериментально изучает закономерности протекания конкретных химических процессов в различных реакторах, осваивает методы анализа химического процесса, изучает влияние технологических параметров на эффективность процесса и углубляет знания о химико-технологических процессах.

Представленные лабораторные работы значительно расширяют возможности квалифицированной подготовки специалистов.

Цели и задачи лабораторных занятий

В лаборатории химической технологии закрепляются и расширяются знания студентов, полученные в лекционном курсе. Поэтому целью лабораторных занятий является экспериментальная проверка основных теоретических положений и получение дополнительных сведений по изучаемому предмету, а также приобретение навыков экспериментального изучения закономерностей химико-технологических процессов.

При прохождении лабораторного практикума по курсу химической технологии студенты исследуют на модельных установках отдельные химико-технологические процессы для получения информации о влиянии параметров процесса на его показатели (выход, скорость превращения).

Задачами лабораторного практикума являются:

- обобщение полученных в лекционном курсе и получение новых сведений об исследуемом процессе при использовании учебной и научной литературы;
- освоение методики экспериментального исследования изучаемого процесса;
- усвоение правил по технике безопасности при проведении лабораторных работ;
- развитие умения анализировать результаты эксперимента;
- развитие навыков написания научно-технической документации;
- приобщение к соблюдению производственной дисциплины при строгом выполнении правил работы в лаборатории.

Правила работы в лаборатории

В лаборатории кафедры проводят работы, связанные с применением химических веществ, которые могут оказывать вредное воздействие на организм человека. Некоторые из них с кислородом воздуха могут образовывать взрывоопасные смеси. В лаборатории используют различные

электрические приборы, неосторожное обращение с которыми может привести к травмам.

Общие правила работы в лаборатории следующие.

Перед работой студент должен пройти инструктаж по технике безопасности и правилам безопасного обращения с используемыми в работе веществами, расписаться в журнале и получить допуск у преподавателя на выполнение конкретной лабораторной работы. **ПРИСТУПАТЬ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ БЕЗ РАЗРЕШЕНИЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ КАТЕГОРИЧЕСКИ ЗАПРЕЩАЕТСЯ!**

В лаборатории студенты должны строго соблюдать дисциплину и поддерживать чистоту. Выполнять эксперименты необходимо в рабочих халатах. На рабочем месте не должно быть посторонних предметов.

При выполнении лабораторных работ необходимо следить за показаниями приборов и работой оборудования. Запрещается во время эксперимента отходить от работающей установки, поворачиваться к ней спиной и выходить из помещения лаборатории.

При выполнении лабораторных работ студент должен соблюдать осторожность, помня, что неаккуратность, невнимательность, неправильное обращение с приборами может привести к несчастным случаям.

В лаборатории запрещается принимать пищу и пить воду. В конце занятия студент обязан предъявить преподавателю результаты своей работы. Работа считается выполненной, если результаты утверждены и подписаны преподавателем. После этого необходимо привести в порядок рабочее место и получить указания к следующей работе.

В случае несоблюдения правил работы в лаборатории, правил по технике безопасности и производственной санитарии студентов отстраняют от проведения экспериментов.

Правила по технике безопасности

Ответственность

Руководство кафедры несет ответственность:

За создание безопасных условий труда и наличие безопасных методик выполнения лабораторных работ;

За поддержание в рабочем состоянии средств, обеспечивающих безопасное проведение лабораторных работ.

Профессорско-преподавательский состав и лаборанты проводящие занятия, несут ответственность:

За организацию работы по охране труда в лаборатории и соблюдение санитарно-гигиенического режима работы;

За допуск студентов к работе только после вводного инструктажа и проверки знаний студентов по безопасному выполнению лабораторных работ;

За выключение электроприборов и водопроводных кранов по окончании работы;

За оказание доврачебной медицинской помощи пострадавшим при несчастных случаях;

За своевременное информирование заведующего кафедрой об инцидентах, авариях и несчастных случаях, произошедших при выполнении работ.

В случае обнаружения неисправностей, создающих опасность, работу в лаборатории не проводить до их устранения.

Студенты, выполняющие лабораторные работы, несут ответственность:

За безопасное выполнение работ в соответствии с методическими указаниями;

За выполнение требований сотрудников лаборатории по безопасному выполнению работ;

За сохранение материально-технических ценностей лаборатории;

За поддержание чистоты и своевременную уборку рабочих мест;

За своевременное информирование преподавателя об инцидентах и несчастных случаях, произошедших в лаборатории.

Студенты, нарушающие правила техники безопасности, отстраняются от выполнения лабораторных работ. Они могут быть допущены к работе в лаборатории после повторной проверки знаний норм внутреннего распорядка и правил охраны труда.

Требования работы с химическими веществами

В лаборатории используют растворы кислот и щелочей. Эти вещества относятся к группе агрессивных веществ, вызывающих химические ожоги, поэтому при работе с ними нельзя допускать их попадание на кожу, одежду, поверхность столов.

Сливать продукты, полученные на ряде лабораторных стендов, в канализацию категорически запрещено.

Отработанные кислоты и щелочи собирают отдельно в специальную посуду и после нейтрализации в конце эксперимента сливают в канализацию. Переливание концентрированных кислот, щелочей и приготовление из них растворов должно проводиться в вытяжном шкафу. При этом обязательно нужно использовать воронки, спецодежду и средства индивидуальной защиты. При пользовании пипеткой необходимо использовать грушу.

Твердые сыпучие реактивы разрешается брать только с помощью совочков, шпателей.

Требования электробезопасности на химической установке

Во избежание поражения электрическим током запрещается касаться руками клемм электроприборов и прикасаться к токоведущим проводам.

Нельзя подключать электроприборы влажными руками, касаться руками защитного кожуха приборов во время их работы.

Запрещается регулировать, ремонтировать приборы, находящиеся под напряжением, работать с неисправными и незаземленными приборами.

Запрещается пользоваться огнеопасными веществами вблизи включенных электронагревательных устройств.

По окончании эксперимента установки должны быть полностью отключены от электросети.

Подготовка, выполнение и защита лабораторной работы

На первом занятии преподаватель знакомит студентов с целями и задачами лабораторных работ, порядком их выполнения, проводит вводный инструктаж по технике безопасности и правилам работы в лаборатории. В контрольном листе инструктажа расписываются преподаватель и студент.

Проведение лабораторной работы включает следующие этапы:

- получение от преподавателя задания;
- литературная проработка задачи (студент знакомится с теоретическими основами изучаемого процесса, используя учебную, научную и справочную литературу);
- ознакомление с лабораторной установкой;
- ознакомление с методом обработки результатов эксперимента, формой представления экспериментальных данных;
- составление плана проведения работы;
- изучение инструкции по технике безопасности;
- беседа с преподавателем по вопросам выполнения работы;
- экспериментальное выполнение задания;
- обработка результатов эксперимента;
- составление отчета;
- защита отчета.

Отчет должен содержать формулировку задания, краткое изложение теоретических основ изучаемого процесса, последовательность выполнения работы, опытные и расчетные данные и выводы.

При защите работы должен ответить на вопросы о цели исследования, назначении и устройстве установки, объяснить методику проведения эксперимента и обработки данных, уметь анализировать экспериментальные данные, показать знания теоретических основ изучаемого явления, а также уметь пояснить используемые при беседе термины.

Лабораторная работа 1

Электрохимическое цинкование

Цель работы:

Ознакомление с процессом электролитического цинкования в стационарном электролизере. Исследование влияния плотности тока на выход цинка по току.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Оборудование и реактивы

Выпрямитель, электроплитка, стакан ёмкостью 1 л, крышка с цинковыми электродами, стальные образцы, 3 стакана на 500 мл, соединительные провода, термометр.

Электролит для цинкования содержащий 100 г/л $ZnSO_4$, 40 г/л Na_2SO_4 и 40 г/л $KAl(SO_4)_2$.

Порядок выполнения работы

Поверхность образцов тщательно очистить от механических загрязнений, жировых и оксидных пленок. Обезжиривание проводят раствором NaOH с концентрацией 15 г/л при температуре 80°C в течение 20 минут. После обезжиривания электроды промывают водой и просушивают в сушильном шкафу.

Определяют размеры электродов с точностью до 1 мм и их массу на аналитических весах с точность до 0,0001 г.

Рассчитывают время электролиза необходимое для получения цинкового покрытия толщиной 15 мкм для плотностей тока: 100, 200, 300, 400, 500 А/м². Выход по току принимают равным 100 %. Расчет проводят по уравнению 4. Плотность цинка 7,13 г/см³.

Рассчитывают силу тока в цепи для выше перечисленных плотностей тока. Собирают ячейку для электролиза. Устанавливают силу тока и ведут цинкование в течение рассчитанного времени.

После электролиза катод моют проточной водой, сушат в сушильном шкафу и взвешивают.

Рассчитывают выход по току (ур-е 1.7), фактическую толщину покрытия, выход по энергии, расход электроэнергии. Плотность цинка $7,13 \text{ г/см}^3$.

Результаты работы заносят в таблицу.

Показатель	Катод				
	1	2	3	4	5
Катодная плотность тока, А/м^2	100	200	300	400	500
Время электролиза, с					
Сила тока, А					
Масса катода до опыта, г					
Напряжение на ванне, В					
Масса катода после опыта, г					
Площадь катода, см^2					
Масса осажденного цинка, г					
Фактическая толщина покрытия, мкм					
Выход цинка по току, %					
Выход по энергии					
Расход электроэнергии, Дж/кг					

Делают выводы о влиянии условий электролиза на его результаты.

Вопросы коллоквиума

1. Законы Фарадея.
2. Электродные процессы при электролизе солей цинка
3. Электролиты цинкования.

4. Число Фарадея. Как рассчитывается?
5. Катодная и анодная защита металлов. Примеры.
6. Рассеивающая способность электролита.
7. Перенапряжение выделения водорода.
8. Дайте определение явления перенапряжения. Когда оно возникает?
9. Факторы, влияющие на электролиз.
10. Объясните следующий факт. Если пластинку из меди опустить в соляную кислоту, то ничего не происходит. Однако, если цинковой палочкой прикоснуться к медной пластинке, то на последней начинается бурное выделение водорода. Почему? Какой металл при этом растворяется? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов.
11. Железное изделие покрыли никелем. Какое это покрытие – анодное или катодное? Почему? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов коррозии этого изделия при нарушении покрытия во влажном воздухе и хлороводородной кислоте. Какие продукты коррозии образуются в первом и во втором случаях?

Лабораторная работа 2

Электрохимическое полирование нержавеющей стали

Цель работы

Определение режима электрохимического полирования нержавеющей стали.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Оборудование и реактивы

Выпрямитель, электролизер (стакан 500-800 мл, крышка с двумя катодами из нержавеющей стали, аноды из нержавеющей стали $\rho = 7,9 \text{ г/см}^3$), электрические провода, термометр от 0 до 100°C, кристаллизатор.

Электролит (60 масс % ортофосфорной кислоты с плотностью 1,63 г/см³; 20 масс% серной кислоты с плотностью 1,83 г/см³; 20 масс % воды).

Порядок выполнения работы

Поверхность образцов тщательно очистить от механических загрязнений, жировых и оксидных пленок. Обезжиривание проводят раствором NaOH с концентрацией 15 г/л при температуре 80°C в течение 20 минут. После обезжиривания электроды промывают водой и просушивают в сушильном шкафу.

Определяют размеры электродов с точностью до 1 мм и их массу на аналитических весах с точностью до 0,0001 г.

Собирают ячейку для электролиза. Устанавливают нужные напряжения, и ведут полирование в течение необходимого времени (напряжение и время указаны в таблице) при температуре 40-60°C.

После обработки образцы вынимают, промывают водой, высушивают, взвешивают и визуально определяют качество полировки.

Результаты заносят в таблицу:

Таблица 2. Условия электрохимического полирования

Т, °С	U, В	I, А	t полир, мин	Съем металла				Выход по току
				m анода, г До полир.	После полир.	мкм	мкм/с	
	2,0		10					
	3,0		10					
	4,0		10					
	4,5		5					
	5,0		5					
	5,5		3					
	6,0		3					
	6,5		3					

Строят график зависимости плотности тока от напряжения.

Делают выводы по работе.

Вопросы коллоквиума

1. Электрохимическое полирование.
2. Механизмы электрохимического полирования.
3. Поляризационная кривая пассивируемого металла.
4. Электродная поляризация и ее причины.
5. Уравнение Тафеля.
6. Требование к выбору электролита для электрохимического полирования.

Лабораторная работа 3

Соосаждение диоксида германия с гидроксидом цинка

Цель работы:

Изучение процесса соосаждения микроэлемента с коллектором.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Оборудование и реактивы

Встряхиватель или мешалка, фотометр фотоэлектрический, бюретки, колбы конические (250 мл), кюветы (20 мм), мерные колбы (25 мл).

Раствор диоксида германия (350 мг/л по германию), стандартный раствор диоксида германия (0,005 мг/мл по германию), растворы едкого натра (0,1 и 1 н), раствор сульфата цинка (8 г/л по цинку), раствор фенилфлуорона (0,03%), раствор соляной кислоты (2%), этанол, 0,5% раствор желатина (готовится перед началом работы).

Приготовление растворов германия

Навеску диоксида германия массой 0,1441 г растворяют в 10 мл воды с добавлением нескольких капель разбавленного раствора гидроксида натрия. Прибавляют две капли фенолфталеина и нейтрализуют раствор разбавленной соляной кислотой с избытком в две капли. Разбавляют водой до 100 мл в

мерной колбе. Раствор содержит 1 мг/мл германия. Разбавлением 10 мл этого раствора в мерной колбе на 100 мл получают раствор, содержащий 0,1 мг/мл германия. Разбавлением 5 мл последнего раствора до 100 мл получают раствор содержащий 5 мкг/мл германия.

Приготовление 0,03 % спиртового раствора фенилфлуорона

0,03 г фенилфлуорона растворяют в 100 см³ этилового спирта с добавлением 1 см³ раствора серной кислоты (1:1) при нагревании на водяной бане до получения прозрачного раствора. Готовый раствор хранят в склянке из темного стекла. Срок годности 7 суток.

Посуду, используемую в работе, промывать 15% горячим раствором щелочи.

Порядок выполнения работы

Приготовить стандартные растворы для построения градуировочного графика с содержанием германия: 0,005; 0,01; 0,015; 0,02 и 0,025 мг. Для этого аликвотную часть раствора помещают в мерную колбу на 25 мл, доавляют 2 мл 0,5% раствора желатина, 1 мл 0,03% раствора фенилфлуорона и доводят объем раствора до метки 2% раствором соляной кислоты. Холостую пробу готовят аналогично, но без добавления германийсодержащего раствора. Перед колориметрированием растворы выдерживают в течение 60 минут. Измеряют оптическую плотность (D) полученных растворов при длине волны 490 нм. Результаты заносят в таблицу 1.

Таблица 1. Оптические плотности стандартных растворов.

Содержание германия, мг	Концентрация германия, мг/мл	Оптическая плотность
0,005		
0,01		
0,015		
0,02		
0,025		

Построить график зависимости оптической плотности от концентрации.

Приготовить рабочие растворы. Количество германия в растворе от 8 до 12 мг/100 мл, массовое отношение цинка к германию (4:1 – 8:1) и pH раствора от 6 до 9 (задаются преподавателем). В колбу на 250 мл налейте заданное количество германийсодержащего раствора и раствора сульфата цинка. Затем при помощи растворов щелочи установите заданное значение pH. Доведите объем полученной смеси до 100 мл. Характеристики растворов занесите в таблицу 2.

Таблица 2. Характеристики исходных растворов

Сод. Ge, мг	Сод. Zn, мг	V p-раGeO ₂ с $C=350$ мг/л	V p-раZnSO ₄ с $C=8$ г/л	pH раб. p-ра

Поместите колбы на встряхиватель (мешалку) и перемешивайте содержимое в течение 30 минут. По окончании перемешивания отделите раствор от осадка фильтрованием на складчатом фильтре.

Определите концентрацию германия в фильтрате фотокалориметрическим методом. Процедура приготовления растворов для фотометрирования описана выше. Измеренные оптические плотности рабочих растворов занесите в таблицу 3.

Таблица 3. Оптические плотности рабочих растворов

Номера рабочих растворов	Аликвотная часть, мл	Оптическая плотность

По градуировочному графику определите содержание германия в рабочих растворах после осаждения. Затем рассчитайте степень осаждения германия по формуле:

$$\alpha = \frac{m_1 - m_2}{m_1},$$

где m_1 – количество германия в исходном растворе; m_2 – количество германия в рабочем растворе после осаждения.

Результаты работы занести в таблицу 4.

Таблица 4. Результаты эксперимента

№ раб. р-ра	Сод. Ge в конечном р-ре, мг	Сод. Ge в исходном р-ре, мг	Сод. Ge в осадке, мг	Степень соосажд. Ge

Сделайте вывод о влиянии различных факторов на степень соосаждения германия.

Вопросы коллоквиума

1. Типы соосаждений и их характеристика.
2. Закономерности соосаждения германия с гидроксидами железа, алюминия, цинка.
3. Фотоколориметрический метод определения содержания германия.
4. Произведение растворимости. Растворимость. Связь произведения растворимости с растворимостью.

Лабораторная работа 4

Цементация меди из слабокислого раствора

Цель работы

Изучение процесса выделения металлов цементацией.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Оборудование и реактивы

Встряхиватель или мешалка, фотометр фотоэлектрический, бюретки, колбы конические (100 мл), кюветы (30 мм), мерные колбы (25 мл).

Раствор сульфата меди с концентрацией 10 г/л, порошок цинка, двунормальный раствор аммиака, соляная кислота.

Порядок выполнения работы

В коническую колбу (объём 100 мл) налить 100 мл раствора сульфата меди подкисленного соляной кислотой ($pH=1-1,5$) и добавить к нему необходимое количество цементатора (цинковый порошок). Количество цементатора рассчитывают исходя из концентрации раствора сульфата меди.

Поставить колбу на мешалку и перемешивать в течение 30 минут. По окончании перемешивания отделить раствор от осадка фильтрованием на складчатом фильтре.

Определить в растворе содержание меди калориметрическим способом. Для этого необходимо построить градуировочный график. Его строят следующим образом: в мерные колбы объёмом 25 мл приливают раствор $CuSO_4$ ($c = 10г/л$), чтобы содержания меди было 0,5; 1; 1,5; 2; и 2,5 мг. Затем довести объём раствора до метки двунормальным раствором аммиака. Измерить оптическую плотность эталонных растворов при длине волны 540 нм. Результаты занести в таблицу.

Таблица 1. Оптические плотности эталонных растворов.

Содержание меди, мг	Концентрация меди, мг/мл	Оптическая плотность
0,5		
1,0		
1,5		
2,0		
2,5		

После этого отобрать аликвотную часть раствора после цементации и поместить её в мерную колбу на 25 мл. Довести объем двунормальным аммиаком до метки и измерить оптическую плотность.

Рассчитать количество меди, оставшейся в растворе после цементации. Определить на основании полученных данных степень цементации по формуле:

$$\alpha = \frac{m_1 - m_2}{m_1},$$

где m_1 – количество меди в исходном растворе; m_2 – количество меди в растворе после осаждения.

Вопросы коллоквиума

1. Выделение металлов цементацией.
2. Термодинамика и кинетика процесса цементации меди цинком.
3. Механизм цементации.
4. Способы проведения цементации.
5. Какая гальваническая пара образуется при цементации в настоящей работе.
6. Напишите процессы, протекающие на катоде и аноде.

Лабораторная работа 5

Растворение куприта в разбавленной серной кислоте

Цель работы

Изучение процесса выщелачивания.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Оборудование и реактивы

Магнитные мешалки, фотометр фотоэлектрический, микрокомпрессор, бюретки, колбы конические (100 мл), кюветы (30 мм), мерные колбы (25 мл).

Раствор серной кислоты 5%, раствор сульфата меди с концентрацией 10 г/л, порошок куприта, двунормальный раствор аммиака.

Порядок выполнения работы

Взять две навески куприта массой 1г, поместить их в конические колбы и залить 100 мл 5% раствора серной кислоты.

Поставить колбы на магнитные мешалки и перемешивать растворы в течение 50 минут. Через один из растворов в течение всего времени перемешивания продувать воздух микрокомпрессором.

По окончании перемешивания отделить раствор от осадка фильтрованием на складчатом фильтре.

Определить в растворе содержание меди калориметрическим способом. Для этого необходимо построить градуировочный график. Его строят следующим образом: в мерные колбы объёмом 25 мл приливают раствор CuSO_4 ($c = 10 \text{ г/л}$), чтобы содержания меди было 0,5; 1; 1,5; 2; и 2,5 мг. Затем доводят объём раствора до метки двунормальным раствором аммиака. Измеряют оптическую плотность эталонных растворов при длине волны 540 нм. Результаты занести в таблицу.

Таблица 1. Оптические плотности эталонных растворов.

Содержание меди, мг	Концентрация меди, мг/мл	Оптическая плотность
0,5		
1,0		
1,5		
2,0		
2,5		

После этого отобрать аликвотную часть раствора после растворения и поместить её в мерную колбу на 25 мл. Довести объем двунормальным аммиаком до метки и измерить оптическую плотность.

Рассчитать количество меди, перешедшее в раствор при выщелачивании.

Рассчитать степень растворения меди по соотношению:

$$\alpha = \frac{m_2}{m_1},$$

где m_1 – исходное содержание меди в куприте, m_2 – содержание ионов меди в растворе.

Сделать вывод об условиях выщелачивания.

Вопросы коллоквиума

1. Выщелачивание и их типы.
2. Факторы, влияющие на процесс выщелачивания куприта.
3. Кинетика выщелачивания
4. Термодинамика выщелачивания.

Лабораторная работа 6

Умягчение воды

Цель работы

Изучение процессов умягчения воды химическим методом и методом ионного обмена.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Оборудование и реактивы

Ионообменная колонка, бюретки объемом 25 мл, пипетки объемом 50 мл, колбы объемом 250 мл, тринатрийфосфат, 0,1 М раствор соляной кислоты, 0,1 и 0,01 М растворы трилона Б, 20%-й раствор хлористого аммония, 20%-й раствор аммиака, водный раствор красителя хромового темно-синего, метиловый оранжевый, этиловый спирт (для приготовления индикаторов).

Порядок выполнения работы

Определить карбонатную (временную) жесткость воды. Для этого в коническую колбу объемом 250 мл пипеткой налить 100 мл анализируемой воды, добавить несколько капель метилового оранжевого и оттитровать 0,1 М раствором соляной кислоты до появления розового окрашивания. Рассчитать жесткость по закону эквивалентов. Выразить значение жесткости в немецких градусах жесткости и в моль/л.

Определить общую жесткость воды. Для этого в коническую колбу объемом 250 мл при помощи пипетки переносят 100 мл исследуемой воды, прибавляют 5 мл аммиачного буферного раствора (100 мл 20% раствора хлорида аммония смешать со 100 мл 20% раствора аммиака и довести до 1 л). Добавляют 3-4 капли индикатора – хромового темно-синего (0,5 г индикатора растворяют в 20 мл аммиачного буфера и добавляют 100 мл этилового спирта). Раствор приобретает красную окраску. Пробу, хорошо перемешивая, медленно титруют 0,1 н раствором трилона Б до изменения

цвета раствора от красного до синего. Общую жесткость рассчитывают по закону эквивалентов. Выразить значение жесткости в немецких градусах жесткости и в моль/л.

Провести умягчение воды методом ионного обмена. Умягчение происходит в ионообменной колонке, наполненной Na-катионитом, который находится под слоем дистиллированной воды. Колонка представляет собой стеклянную трубку длиной 0,5 – 0,6 м диаметром 0,03 м, в нижней части которой находится слой стекловаты, а выше – слой Na-катионита высотой 0,25 м. Колонка заканчивается отводом с краном. Регенерируют катионит 8 % раствором хлорида натрия, который пропускают через колонку по каплям в течение 2 х часов. Затем колонку промывают дистиллированной водой (не менее 1 л). Колонка представлена на рисунке 6.1.

Дистиллированную воду спустить до поверхности катионита и залить исследуемой воды. Первые 100 мл воды, вытекающей из колонки, отбросить. Из собранной далее воды отбирают пипеткой 100 мл, переносят в коническую колбу объёмом 250 мл и определяют общую жесткость, используя 0,01 н раствор трилона Б. Затем определяют карбонатную жесткость титрованием соляной кислотой. После окончания умягчения катионит заливают дистиллированной водой. Рассчитывают общую и карбонатную жесткости.

Провести умягчение воды фосфатным методом. Рассчитать количество фосфата натрия, необходимое для умягчения 0,5 л воды. При расчете используют уравнение реакции. Умягчитель берут с избытком в 10 % от расчетного количества.

Навеску фосфата натрия растворяют в 0,5 л исследуемой воды при интенсивном перемешивании в течение 5 минут, дают отстояться и фильтруют через бумажный фильтр. Первые порции фильтрата отбрасывают. Затем из фильтрата отбирают пипеткой 100 мл воды, переносят её в коническую колбу и определяют общую жесткость комплексометрическим

методом, используя 0,01 н раствор трилона Б. Рассчитывают общую жесткость. Определяют карбонатную жесткость.

Оценить эффективность использованных методов умягчения воды.

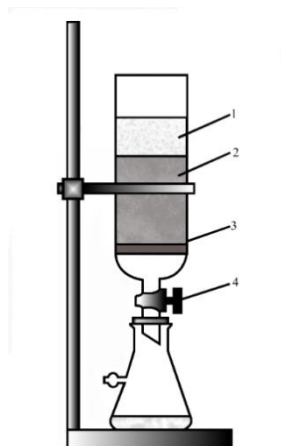


Рис.6.1 — Ионообменная колонка: 1 – дистиллированная вода; 2 – ионит; 3 – стекловата; 4 – кран.

Вопросы коллоквиума

1. Основные показатели качества воды.
2. Операции промышленной водоподготовки.
3. Способы умягчения воды.
4. Как достигается полное обессоливание воды.

Лабораторная работа 7

Очистка хромсодержащих стоков

Цель работы

Очистка модельных вод от шестивалентного хрома и ионов цинка гальванокоагуляционным способом.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Оборудование и реактивы

Барабан с железной и медной стружками, встряхиватель, колориметр фотоэлектрический, мерная колба на 1 л, мерные колбы на 100 мл, цилиндр, колбы конические на 200 мл, универсальный бумажный индикатор, модельный раствор с концентрацией Cr^{6+} 50 мг/л и Zn^{2+} 5 мг/л, дифенилкарбазид 0,1% раствор (готовят на смеси ацетон-вода 1:1; использовать только свежеприготовленный), 2н раствор серной кислоты (56 мл серной кислоты плотностью 1,83 г/мл разводят в литровой колбе), стандартный раствор $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ с концентрацией по Cr^{6+} 100 мг/л, раствор дитизона (0,2 г дитизона растворяют в 100 мл хлороформа или четыреххлористого углерода; раствор хранят в склянке из темного стекла; перед выполнением анализа раствор разбавляют тем же растворителем в 100 раз), ацетатный буферный раствор (смешивают равные объёмы 2н раствора ацетата натрия и 2н раствора уксусной кислоты; $\text{pH} = 4,75$), 25% раствор тиосульфата натрия, раствор Zn^{2+} с концентрацией 100 мг/л.

Порядок выполнения работы

Приготавливают смесь железной и медной стружки 4:1. Смесь засыпают в барабан.

Модельный раствор объёмом 500 мл подкисляют до $\text{pH} = 3-4$, отбирают из него аликвоту 25 мл для определения содержания Cr^{6+} и Zn^{2+} . Оставшийся раствор заливают в барабан, который помещают на встряхиватель. Засекают время и через 10, 20, 30, 40 и 50 минут отбирают из барабана 25 мл раствора для определения содержания Cr^{6+} и Zn^{2+} . Отобранные пробы раствора отстаивают в течение 20 минут и фильтруют через бумажный фильтр. После окончания работы раствор сливают из барабана, промывают стружки и сдают их лаборанту.

Концентрацию шестивалентного хрома определяют колориметрическим методом. Метод основан на способности Cr^{6+}

образовывать с дифенилкарбазидом в кислой среде соединение красно-фиолетового цвета.

Для количественного определения шестивалентного хрома строится калибровочный график зависимости оптической плотности раствора от концентрации ионов хрома (таблица 7.1).

Таблица 7.1. Данные для построения калибровочного графика

Концентрация Cr^{6+} , мг/л	Оптическая плотность, D (densitas)
0,1	
0,2	
0,3	
0,5	
0,7	
1,0	

Раствор для фотометрирования готовят следующим образом: в мерную колбу на 100 мл помещают пипеткой нужное количество стандартного раствора шестивалентного хрома, добавляют 2,5 мл 2н серной кислоты, 2 мл дифенилкарбазида и доводят раствор до метки. Через 10-15 минут определяют оптическую плотность на фотоколориметре в кювете шириной 30 мм при длине волны 540 нм. В качестве раствора сравнения используют дистиллированную воду. По калибровочному графику определяют содержание ионов хрома в модельном растворе.

Концентрацию ионов цинка определяют приближенным методом. Готовят модельные растворы цинка с концентрациями: 0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 3,0; 4,0; 5,0 мг/л. Затем в делительную воронку помещают 1 мл модельного раствора цинка, прибавляют 4 мл дистиллированной воды, 2 мл ацетатного буфера, 5 капель 25% раствора тиосульфата, 5 мл 0,001% раствора дитизона в четыреххлористом углероде и энергично встряхивают в течение 2 минут.

После расслоения жидкости окрашенный слой сливают в пробирку и определяют окраску. Результаты заносят в таблицу 7.2.

Таблица 7.2. Окраска эталонных растворов

Концентрация ионов цинка в модельном растворе, мг/л	Окраска слоя
0,1	
0,25	
0,5	
1,0	
1,5	
3,0	
4,0	
5,0	

Затем проводят определение концентрации ионов цинка в рабочем растворе, сравнивая окраски с эталонными.

Результаты эксперимента заносят в таблицу 7.3.

Таблица 7.3. Концентрация ионов хрома и цинка в рабочем растворе.

Время нахождения раствора в барабане	Концентрация ионов хрома, мг/л	Концентрация ионов цинка, мг/л
0		
10		
20		
30		
40		
50		

Сделать вывод об эффективности гальвано-коагуляционного метода очистки сточных вод от ионов шестивалентного хрома.

Вопросы коллоквиума

1. В сточных водах каких производств содержится шестивалентный хром?
2. Какое действие оказывает шестивалентный хром на живые организмы?
3. Суть электро- и гальванокоагуляционных методов.
4. Напишите реакции, протекающие на катоде и аноде.

Лабораторная работа 8

Жидкостная экстракция

Цель работы

Поиск условий экстрагирования для получения наибольшей степени извлечения вещества. Теоретический расчет процессов экстракции.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Оборудование и реактивы

Концентрационный фотоколориметр (КФК), делительные воронки, пипетки, хлороформ, фуксин ($C_{20}H_{19}N_3$).

Порядок выполнения работы

Готовят раствор фуксина в воде (500 мл) с концентрацией 0,004 г/л. Исследуют зависимость оптической плотности от длины волны. Выбирают длину волны света, проходящего через кювету, для которой оптическая плотность раствора максимальна.

Затем готовят серию растворов для построения градуировочного графика. В мерные колбы объемом 25 мл помещают 3, 8, 10, 12, 15 и 25 мл водного раствора фуксина. Доводят объем раствора в колбе до метки дистиллированной водой. Измеряют оптическую плотность в 20 мм кювете. Результаты заносят в таблицу.

Таблица 8.1. Данные для построения градуировочного графика

Концентрация фуксина, г/мл	Оптическая плотность, D (densitas)

Для экстракции органических веществ из водных растворов пользуются делительной воронкой, в которой смешивают водный раствор вещества (около 1/2 объема воронки) с экстрагентом (1/5 - 1/3 объема воронки). Воронку закрывают пробкой и энергично взбалтывают в течение нескольких минут, придерживая верхнюю пробку одной рукой, а кран на спускной трубке - другой. В воронке может повышаться давление за счет испарения растворителя, поэтому нужно периодически открывать пробку и выпускать пары растворителя. После встряхивания делительную воронку закрепляют в штативе и оставляют в покое до полного разделения слоёв. Затем открывают пробку и, осторожно открывая кран, медленно сливают нижний слой в стакан.

Приготовленный раствор фуксина в воде (40 мл) помещают в делительную воронку и приливают к нему 27 мл хлороформа, добавляют 3 г хлорида натрия. Встряхивают делительную воронку в течение 5 минут. После этого отделяют водный слой и определяют в нем концентрацию фуксина. Рассчитать коэффициент распределения фуксина между водой и хлороформом и степень извлечения фуксина по формулам:

$$\varphi = \frac{C_D}{C_A}$$

$$x_n = a \left(\frac{V_2}{V_2 + \varphi V_1} \right)^n,$$

где V_1 и V_2 – объемы экстрагента и раствора, из которого извлекается вещество, φ – коэффициент распределения, a – количество растворенного в исходном растворе вещества (моль), x_n – остаток вещества в обработанном растворе после n -кратного экстрагирования (моль).

Извлечение фуксина тремя равными по объему порциями хлороформа.

Водный раствор фуксина объемом 40 мл помещают в делительную воронку и приливают к нему 9 мл хлороформа, добавляют 3 г хлорида натрия. Встряхивают в течение 5 минут. Затем сливают хлороформ и к раствору прибавляют новую порцию хлороформа объемом 9 мл и встряхивают в течение 5 минут. Сливают хлороформ и повторяют процедуру еще один раз. Определяют концентрацию фуксина в водном слое. Рассчитывают коэффициент распределения и степень извлечения фуксина.

Извлечение фуксина тремя порциями хлороформа разного объема.

Водный раствор фуксина объемом 40 мл помещают в делительную воронку, приливают к нему 8 мл хлороформа и добавляют 3 г хлорида натрия. Встряхивают воронку в течение 5 минут. Затем сливают экстракт и прибавляют к рафинату 9 мл хлороформа. Встряхивают в течение 5 минут. Сливают экстракт и к рафинату прибавляют 10 мл экстрагента и повторяют процедуру. Рассчитывают коэффициент распределения и степень извлечения фуксина.

Сделать вывод о влиянии условий экстрагирования на степень извлечения фуксина.

Вопросы коллоквиума

1. Жидкостная экстракция в химической технологии.
2. Закономерности распределения вещества между жидкими фазами.
3. Выбор экстрагента.
4. Расчет процессов экстракции.

5. Методы лабораторной экстракции.
6. Принципы построения диаграмм.
7. Правило фаз Гиббса.
8. Два способа определения состава фигуративной точки на концентрационном треугольнике

Лабораторная работа 9

Определение констант процесса фильтрования

Цель работы

Определение констант процесса фильтрования и производительности фильтра по фильтрату и влажному осадку.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Оборудование и реактивы

Штатив, воронка Бюхнера, колба Бунзена, водоструйный насос, фильтры, колбы на 500 мл (2 шт), мерные цилиндры – приемники фильтрата (2 шт), секундомер, термометр, мел.

Порядок выполнения работы

Приготовление суспензии вода-мел. Суспензию готовят в соотношениях Т:Ж (по указанию руководителя работы). Во избежание осаждения осадка колбы со взвесью постоянно взбалтывают.

Собирают установку для фильтрования и проводят опыты с первой и второй суспензиями. Уровень суспензии в фильтровальной воронке во время опыта поддерживается постоянным. Включают секундомер. Первый замер времени делают при появлении первых капель фильтрата в мерном цилиндре. Последующие одновременные замеры времени и собранного фильтрата производятся примерно через 50 мл фильтрата. Такие замеры производят несколько раз.

После этого в приемник-цилиндр сливается жидкость (фильтрат) из суспензии, оставшейся на фильтре. Когда поверхность осадка потеряет

влажный блеск и перестанет изменять свой вид, измеряется толщина слоя на фильтре (торцом металлической линейки) и диаметр всего слоя. Осадок снимают с фильтра и взвешивают. Зная массу сухого остатка (по приготовлении суспензии), определяют влажность осадка.

Результаты замеров занесите в таблицу 9.1.

Таблица 9.1 Результаты эксперимента

№	Время замера τ , с	Объемы фильтрата, v			Интервалы		$\Delta\tau/\Delta v$, с·м ² /м ³
		л	м ³	м ³ /м ²	времени, $\Delta\tau$	объемов фильтрата, Δv м ³ /м ²	

Для определения констант фильтрования строится график (см. рис. 9.3)

Константа K находится по тангенсу угла наклона прямой DM:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\frac{\Delta\tau_4 - \Delta\tau_1}{\Delta v_4 - \Delta v_1}}{v_3 + \frac{v_4 - v_3}{2} - \frac{v_1}{2}}$$

Из выражения $\operatorname{tg} \alpha$ находим константу фильтрования K :

$$K = \frac{2}{\operatorname{tg} \alpha}$$

Константу C находим непосредственно замером отрезка ВО на графике.

Далее определяют скорости фильтрования в начальный и конечный моменты:

$$\left(\frac{dv}{d\tau}\right)_{\tau_1} = \frac{K}{2(v_1 + C)};$$

$$\left(\frac{dv}{d\tau}\right)_{\tau_n} = \frac{K}{2(v_n + C)}.$$

Определяют часовую производительность фильтра по фильтрату и влажному осадку:

$$\text{Пф} = \frac{V_n * 3600}{S_\phi * \tau_n};$$
$$\text{П}_{ос.} = \frac{V_{ос} * 3600}{S_\phi * \tau_n},$$

где V_n – общее количество фильтрата, собранное за время опыта, м^3 ; $V_{ос}$ – объем осадка, равный $S_\phi \cdot h_{сл}$, м^3 ; S_ϕ – площадь фильтра, м^2 ; τ_n – продолжительность опыта, с.

Работу заканчивают определением влажности осадка X , $\frac{\text{кг H}_2\text{O}}{\text{кг сухого осадка}}$.

Сделать выводы по работе.

Вопросы коллоквиума

1. Что такое фильтрование?
2. Закон фильтрования.
3. Какая величина принята в качестве движущей силы процесса фильтрования в модели Дарси-Рутса?
4. Обосновать смысл констант уравнения фильтрования.
5. Производительность фильтра.

Лабораторная работа 10

Изучение реagentного метода нейтрализации сточных вод

Цель работы

Ознакомление с методом реagentной нейтрализации серноокислотных производственных сточных вод.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Оборудование и реактивы

Стаканы химические, колбы Эрленмейера, мерные цилиндры, пипетки, бюретки, штатив, воронка, бумажные фильтры, встряхиватель, весы лабораторные, модельные сточные воды, известь (оксид кальция), оксид магния, метилоранж, раствор NaOH с концентрацией 0,1 моль/л, 0,1 N (0,05

N) раствор перманганата калия (0,05 N); раствор щавелевой кислоты; раствор серной кислоты (1:5); Смесь Рейнгарда-Циммермана (60г сульфата марганца (II) растворяют в 500 мл воды, прибавляют 132 мл концентрированной фосфорной кислоты, 140 мл концентрированной серной кислоты и доводят водой объем раствора до 1 л; 2 N раствор серной кислоты; концентрированная соляная кислота; металлический цинк в гранулах; мерные колбы на 100, 50 мл; мерные пипетки на 5, 10, 25 мл; плитка.

Методика приготовления раствора перманганата калия

Титрованный раствор перманганата калия нельзя приготовить путем взятия точной навески, так как он содержит трудноудаляемые загрязнения, на него действуют органические вещества содержащиеся в дистиллированной воде. Поэтому берут приблизительную навеску. Для приготовления 1л 0,05 н раствора перманганата калия берут навеску 1,58 г. Навеску растворяют в дистиллированной воде в мерной колбе объемом 1л. Приготовленный раствор оставляют стоять семь дней. За это время окислятся примеси. Выделившийся осадок двуокиси марганца удаляют сливанием раствора.

Титр раствора перманганата калия устанавливают по щавелевой кислоте. Для этого рассчитывают навеску щавелевой кислоты необходимую для приготовления раствора объемом, равным V , и с молярной концентрацией эквивалента 0,1 моль/л (или 0,05 N). Навеску вещества растворяют в воде в мерной колбе вместимостью V и раствор тщательно перемешивают. Затем титруют раствор перманганата калия по методике.

В коническую колбу для титрования налейте мерным цилиндром 20 мл раствора серной кислоты (1:5) и нагрейте до 80-90°C.

Бюретку ополосните раствором KMnO_4 , доведите уровень жидкости до нулевой отметки по верхней границе раствора. Проверьте, нет ли воздушного пузыря в носике бюретки.

В горячий раствор кислоты пипеткой внесите 10,00 мл раствора щавелевой кислоты и титруйте смесь раствором перманганата калия. В начале титрования прибавляйте раствор KMnO_4 из бюретки по 0,5 мл,

дожидаясь обесцвечивания раствора в колбе, перемешивая раствор кругообразными движениями. Для лучшего определения окраски подложите под колбу лист белой бумаги. Когда обесцвечивание раствора, вследствие автокатализа, будет проходить быстро, раствор титранта прибавляйте по каплям. В точке эквивалентности от прибавления одной капли титранта раствор приобретает бледно-розовую окраску устойчивую в течении 30 с.

Модельный раствор: $C(\text{H}_2\text{SO}_4)=1-1,5$ моль/л; $C(\text{Fe}^{3+})=1,5-2,5$ мг/л;
 $C(\text{Fe}^{2+})=1,5-2,5$ мг/л.

Порядок выполнения работы

Определение кислотности

Определите кислотность модельного раствора в пересчете на серную кислоту, а также содержание в нем железа.

Для определения кислотности отбирают из модельного раствора аликвоту 1,5 мл в коническую колбу, добавляют 30 мл дистиллированной воды, прибавляют 2-3 капли фенолфталеина и титруют 0,1М раствором гидроксида натрия до появления розовой окраски. Концентрацию кислоты рассчитывают по закону эквивалентов.

Определение концентрации общего железа

Титрование железа (II) основано на реакции:



Титровать можно в серноокислой или солянокислой средах. В первом случае не наблюдается никаких осложнений. Присутствие в титруемом растворе хлорид ионов приводит к перерасходу перманганата и получению нечеткого конца титрования. Это вызвано тем, что реакция между железом (II) и перманганатом индуцирует реакцию между ионами MnO_4^- и Cl^- . Индуцированной реакции не возникает, если в растворе присутствуют в достаточных количествах фосфорная кислота и марганец (II). Поэтому перед титрованием в раствор добавляют смесь Рейнгарда-Циммермана, состоящую из серной, фосфорной кислот и сульфата марганца (II). Присутствие в этой смеси серной кислоты создает требуемую концентрацию протонов в

титруемом растворе. Присутствие фосфорной кислоты необходимо для связывания железа (III) в бесцветный комплекс и образования фосфатных комплексов марганца (III). Если железо не маскировать, то окраска его комплексных хлоридов будет затруднять наблюдение в конце титрования бледно-розовой окраски перманганата калия. Железо (III) перед титрованием необходимо восстановить до железа (II).

Аликвотную часть анализируемого раствора объемом 10 мл, отмеренного пипеткой, внесите в коническую колбу вместимостью 200 мл, добавьте 5 мл концентрированной соляной кислоты и 3-4 гранулы металлического цинка. Закройте колбу маленькой воронкой, нагрейте смесь на песчаной бане (реакция не должна идти слишком бурно) до обесцвечивания раствора и полного растворения цинка. Раствор охладите водой под краном, добавьте 5 мл смеси Рейнгарда-Циммермана, 100 мл воды и при интенсивном перемешивании медленно оттитруйте раствором перманганата калия до появления бледно-розовой окраски устойчивой в течение 30 с. Концентрацию железа рассчитывают по закону эквивалентов.

Нейтрализация модельного раствора

Поместите в коническую колбу 50 мл модельный раствора. Рассчитайте по формуле (10.1) количество нейтрализующего реагента для обработки стока.

Введите расчётное количество реагента в сток, затем перемешивайте полученную смесь в течение 30 мин.

Отфильтруйте нейтрализованный сток, определите кислотность фильтрата в пересчёте на серную кислоту.

Рассчитайте эффективность применённого метода нейтрализации для данного вида стока по формуле:

$$\mathcal{E} = 100(C_n - C_k)/C_n, \%$$

где C_n и C_k – кислотность до и после нейтрализации соответственно, мг/л.

Сделайте вывод об эффективности реагента.

Вопросы коллоквиума

1. Какие методы нейтрализации вы знаете?
2. Когда применяется метод реагентной нейтрализации?
3. Назовите недостатки нейтрализации сернокислотных стоков известью, а также методы их устранения.
4. Почему перманганат калия можно титровать без индикатора? В какой среде можно проводить перманганатометрическое титрование? Зависит ли величина молярной концентрации эквивалента от среды?

Лабораторная работа 11

Определение режима течения жидкости

Цель работы

Ознакомление с гидродинамическими изменениями, происходящими в потоке воды при различных режимах течения.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1.1.Оборудование и реактивы

Стеклянная трубка, термометр, секундомер, мерный объем-сливной бачок, вода из водопровода.

Порядок выполнения работы

Вода из городского водопровода по стеклянной трубе подается в сливной бак. Время наполнения до определенного объема (уровня) задает скорость потока.

Работу начинают с установления ламинарного режима и, увеличивая постепенно скорость движения воды в стеклянной трубе, наблюдают за изменениями, происходящими со струйкой воды при разных режимах течения.

После наглядного изучения поведения струйки приступают к измерению величин, необходимых для определения числа Рейнольдса, начиная с ламинарного и кончая турбулентным.

Увеличивая степень открытия крана, повышают тем самым скорость истечения воды в стеклянной трубе. Таких замеров производят несколько (5-6), заканчивая их при развитом турбулентном движении. При этом записывают также показания термометра, т.к. температура воды может меняться.

После проведения всех измерений производят обработку полученных результатов. Определяют среднюю скорость движения воды в стеклянной трубе:

$$\omega = \frac{G}{0.785 \cdot d^2 \cdot \rho},$$

где G – расход воды, кг/с; ρ – плотность воды, кг/м³; d – внутренний диаметр стеклянной трубки, м.

Результаты наблюдений и расчетные данные заносятся в таблицу.

№ опыта	Расход воды G , кг/с	Тем-ра воды t , С°	Вязкость воды μ , н·с/м ²	Скорость движения воды ω , м/с	Re	Состояние струи	Режим потока

Выводы

Приложение. Физические свойства воды:

а) плотность воды

t , °С	0	10	20	30	40	50
ρ , кг/м ³	999.6	998.7	998.2	995.7	992.2	933.1

б) вязкость воды

t, °C	$\mu \cdot 10^3 \text{Н} \cdot \text{с} / \text{М}^2$	t, °C	$\mu \cdot 10^3 \text{Н} \cdot \text{с} / \text{М}^2$	t, °C	$\mu \cdot 10^3 \text{Н} \cdot \text{с} / \text{М}^2$
5	1,519	15	1,140	24	0,914
6	1,473	16	1,111	25	0,894
7	1,488	17	1,083	26	0,874
8	1,386	18	1,056	27	0,855
9	1,346	19	1,030	28	0,836
10	1,308	20	1,005	29	0,818
11	1,271	21	0,981	30	0,801
12	1,236	22	0,958	31	0,784
13	1,203	23	0,936	32	0,768
14	1,171				

Вопросы коллоквиума

1. Ламинарный и турбулентный режимы.
2. Опыт Рейнольдса.
3. Какое свойство жидкости ответственно за то, что локальные скорости не одинаковы по поперечному сечению ламинарного потока?
4. Чем отличаются профили скоростей при ламинарном и турбулентном режимах? Причина этих отличий.
5. Какой из режимов является стационарным?
6. Каков физический смысл критерия Рейнольдса?
7. Что такое эквивалентный диаметр канала?
8. Теория подобия (размерностей).
9. Внешняя и внутренняя задачи гидродинамики.
10. Конвекция в слое.
11. Псевдооживленный (кипящий) слой.