

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ОПОП ВО  
Профессор О.В. Черемисина

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО  
ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ  
ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ**

<b>Уровень высшего образования:</b>	подготовка кадров высшей квалификации
<b>Направление подготовки:</b>	04.06.01 Химические науки
<b>Направленность (профиль):</b>	Физическая химия
<b>Форма обучения:</b>	очная
<b>Нормативный срок обучения:</b>	4 года
<b>Составитель:</b>	д.т.н. Черемисина О.В.

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2019**

## ВВЕДЕНИЕ

Изучение дисциплины **«Поверхностные явления и дисперсные системы»** предполагает

формирование у аспирантов

- знаний в области современных тенденций в области современных тенденций в области коллоидной химии и их применения для целей обеспечения учебного процесса и научной коммуникации;

- современного научного мировоззрения, развитие творческого естественнонаучного мышления, овладение современными методами научных исследований в области применения дисперсных систем и поверхностных явлений в технологических процессах

- навыка самостоятельного решения профессиональных задач, связанных с изучением свойств и превращений веществ в дисперсном и ультрадисперсном состояниях и поверхностных явлений в дисперсных системах;

- представлений и практического опыта выполнения физико-химических расчетов высокодисперсных систем, поверхностных явлений и технологических процессов с их участием;

- навыков практического применения расчетов и экспериментального исследования физико-химических параметров процессов с участием дисперсных систем и поверхностных явлений.

Самостоятельная работа направлена на углубление и закрепление знаний, полученных на лекциях и практических занятиях, а также выработку навыков самостоятельного приобретения новых, дополнительных знаний, подготовку к предстоящим учебным занятиям и промежуточному контролю.

Самостоятельная работа – обязательная и неотъемлемая часть учебной работы аспиранта, направленная на:

- систематизацию, закрепление, углубление и расширение полученных теоретических знаний и практических умений;

- формирование умений использовать различные информационные источники: нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;

- развитие познавательных способностей, творческой инициативы, ответственности и организованности;

- развитие исследовательских умений;

- приобретение навыков в преподавательской деятельности

В результате изучения дисциплины обучающийся должен демонстрировать способность и готовность

– *в научно-исследовательской деятельности в области химии и смежных наук*

критически анализировать и оценивать современные технические и научные достижения, в том числе в междисциплинарных областях; соблюдать правила международного научного общения и сотрудничества, принципы академической этики и личной ответственности ученого;

– *в преподавательской деятельности в области химии и смежных наук*

проводить основные виды учебных занятий в рамках своей специальности; соблюдать правила и нормы педагогической этики и личной ответственности преподавателя; планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития в педагогическом, общетехническом, общенаучном и социальном контекстах.

Самостоятельная работа по дисциплине **«Поверхностные явления и дисперсные системы»** включает подготовку к экспериментальным и теоретическим работам и изучение дополнительных материалов. В методических указаниях описываются действия, которые необходимо выполнить в рамках самостоятельной работы.

## 1. ТЕМАТИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тематика самостоятельной работы
1	Введение	Способы получения дисперсных систем
2	Термодинамика дисперсных систем	Роль поверхностных явлений в химических технологиях, металлургии, обогащении
3	Сорбция	Применение теоретических представлений о процессах сорбции для моделирования технологических процессов, в том числе в нефтедобыче
4	Электрокинетические явления	Современные методы моделирования электрокинетических явлений
5	Устойчивость дисперсных систем	Новейшие достижения в области устойчивости дисперсных систем

Изучать курс рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них по программе. При первом чтении следует стремиться к получению общего представления об излагаемых вопросах, а также отмечать трудные или неясные моменты. При повторном изучении темы необходимо освоить все теоретические положения и подходы к решению практических задач.

Для более эффективного запоминания и усвоения изучаемого материала, полезно иметь рабочую тетрадь (можно использовать лекционный конспект) и заносить в нее основные понятия, новые незнакомые термины и названия, математические зависимости и их выводы и т.п. Весьма целесообразно пытаться систематизировать учебный материал, проводить обобщение разнообразных фактов, сводить их в таблицы. Такая методика облегчает запоминание и уменьшает объем конспектируемого материала.

Изучая курс, полезно обращаться и к предметному указателю в конце книги и к глоссарию (словарю терминов). Пока тот или иной раздел не усвоен, переходить к изучению новых разделов не следует. Краткий конспект курса будет полезен при повторении материала в период подготовки к промежуточной аттестации.

## 2. ПОДГОТОВКА К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Основная цель практических занятий – связать теоретические знания с практической деятельностью. Практические занятия чередуют развитие навыков выполнения экспериментальных и теоретических исследований. При выполнении исследований аспирант подготавливает отчет.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тематика практических занятий
1.	Введение	Классификация дисперсных систем по агрегатному состоянию и межмолекулярному взаимодействию.
2.	Термодинамика дисперсных систем	Подходы к экспериментальному изучению и математическому моделированию поверхностных явлений

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тематика практических занятий
3.	Сорбция	Термодинамическое моделирование равновесий переноса массы между фазами (сорбция, экстракция)
4.	Электрокинетические явления	Методы определения величины электрокинетического потенциала
5.	Устойчивость дисперсных систем	Методы изучения седиментационного равновесия. Действие коагулянтов и флокулянтов.

Аспиранты должны приходиться на практическое занятие заранее подготовленными. При подготовке к экспериментальным исследованиям необходимо ознакомиться с методическими указаниями к их выполнению и уяснить:

- цель работы;
- содержание работы;
- правила техники безопасности;
- порядок выполнения работы;
- результаты, которые должны быть получены в процессе выполнения работы;
- требования к отчету по работе.

Перед выполнением экспериментальных исследований аспиранты должны получить к ней допуск. Для допуска требуется знание теоретических основ выполняемой работы, хода ее выполнения, порядка записи и обработки результатов измерений и вычисления погрешностей, наличие протокола ведения эксперимента, содержащего необходимые исходные данные и таблицы для записи экспериментальных данных.

После получения допуска аспиранты приступают к выполнению экспериментов. Полученные результаты эксперимента должны быть сразу занесены в протокол. Он должен быть выполнен по возможности аккуратно, в протокол необходимо занести используемое оборудование, реактивы, все экспериментальные данные, концентрации использованных растворов и др. В конце работы экспериментальные данные предъявляются преподавателю. Протокол является неотъемлемой частью отчета и должен быть подписан преподавателем с указанием даты выполнения работы. Исправления, подтирки, корректор в протоколе не допускаются. Новые измерения должны заноситься ниже прежних и опять подписываться преподавателем. Отчет без подписанного протокола на проверку не принимается, а работа выполняется вновь.

### 3. РЕКОМЕНДАЦИИ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет по практическому занятию вместе с протоколом сдается преподавателю не позднее начала следующего занятия. Отчет должен быть оформлен в соответствии с индивидуальным заданием согласно методическим указаниям к конкретной работе и должен содержать следующие части:

1. Название работы.
2. Краткое описание сущности работы (со ссылками на литературные источники)
2. Цель работы.
3. Перечисление оборудования, реагентов, иных источников
4. Ход эксперимента или краткое описание методики теоретических исследований.
5. Экспериментальные данные или исходные данные для моделирования.

6. Обработка экспериментальных данных или собственно моделирование процесса.

7. Вывод.

### **Текст и его размещение на странице**

Отчёт выполняют на листах формата А4 (размером 297x210 мм). Допускается как односторонняя, так и двухсторонняя печать. Поля рекомендуются установить верхнее, нижнее – 2 см, правое – 1,5 см, левое – 2,5 или 3 см. Основной шрифт текста – Times New Roman, размер 12 или 14 пт, начертание обычное. Выравнивание текста – по ширине страницы, междустрочный интервал – полуторный. Абзацы в тексте начинают отступом, равным 1,25 см.

### **Разделы, подразделы и пункты**

Текст документа делится на разделы и подразделы. Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всего документа, обозначенные арабскими цифрами. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделённых точкой. Разделы и подразделы должны иметь заголовки, которые чётко и кратко отражают содержание разделов и подразделов. Заголовки начинаются с прописной буквы без точки в конце и без подчёркиваний. Разделы и подразделы могут содержать отдельные пункты, которые нумеруют по той же схеме, что и подразделы. Пункты названий как правило не имеют.

### **Пример формирования раздела, подраздела и пунктов выполнения эксперимента**

#### **3 Выполнение работы**

##### **3.1 Приготовление рабочего раствора соли железа**

3.1.1 В маркированный химический стакан отобрать порцию стандартного раствора соли железа объемом около 10 мл.

3.1.2 Из химического стакана в мерную колбу объемом 200 мл мерной пипеткой вместимостью 5 мл отобрать 5 мл стандартного раствора соли железа.

3.1.3 Довести уровень жидкости в мерной колбе дистиллированной водой до метки.

3.1.4 Закрыть колбу пробкой и перемешать раствор, переворачивая мерную колбу не менее 40 раз.

### **Формулы**

Формулой считают любую последовательность, состоящую не менее, чем из двух символов, которая не является словом в каком-либо языке. Для написания формул рекомендовано применять встроенные в Microsoft Office редакторы формул. Размер символов в формулах должен соответствовать размеру основного шрифта. Непосредственно под формулой приводят пояснения символов и числовых коэффициентов. Обычно латинские буквы в формулах выделяют курсивом. Каждую формулу записывают на новой строке.

Пример.

Концентрацию катиона металла в растворе вычисляют по формуле:

$$C = \frac{C_T V_T}{V_a},$$

где  $C_T$  – концентрация трилона Б (0,05 моль/л);  $V_T$  – эквивалентный объем трилона Б, мл;  $V_a$  – объем пробы, взятый для определения концентрации катиона металла, мл,  $V_a = 5$  мл.

Формулы в тексте при необходимости нумеруют. Нумерация может быть сквозная.

### **Таблицы**

Таблицы используют для записи первичных результатов эксперимента, при обработке результатов эксперимента, при систематизации сведений и т.п.

При необходимости таблицы нумеруют. Удобно использовать сквозную нумерацию. Формат шрифта таблицы обычно соотносится с основным текстом. При переносе таблиц на следующую страницу повторяют «головку» таблицы. Таблицы рекомендуется снабжать заголовками, отражающими назначение и содержание таблицы

### Пример оформления таблицы

Таблица 1 – Основные сведения о проведении эксперимента

Масса навески угля $g$ , г	
Наименование слабой кислоты	
Химическая формула слабой кислоты	
Ориентировочная концентрация слабой кислоты, моль/л	
Концентрация раствора щелочи $C_{(NaOH)}$ , экв./л	
Объем аликвоты слабой кислоты $V_a$ , мл	

Таблица 2 – Результаты титрования проб

№ колбы	Время, мин.	$V_{NaOH}$ , мл	№ колбы	Время, мин.	$V_{NaOH}$ , мл
1	0	21,2	6	15	19,2
2	3	20,4	7	18	19
3	6	19,9	8	21	18,8
4	9	19,7	9	24	18,6
5	12	19,5	10	27	18,6
			11	30	18,6

### Рисунки

Количество иллюстраций должно быть достаточным для пояснения текста. Иллюстрации должны находиться после абзаца с первым упоминанием о рисунке. Рисунки нумеруют. Удобно использовать сквозную нумерацию рисунков. Каждый рисунок должен иметь название или подрисуночную подпись, которая кратко отражает содержание рисунка. При наличии нескольких зависимостей на рисунке принято использовать «легенду», располагаемую непосредственно на рисунке или рядом с ним. Если рисунок предполагает аппроксимацию графических зависимостей, то в некоторых случаях допустимо располагать уравнения аппроксимации непосредственно на рисунке.

### Пример оформления рисунка

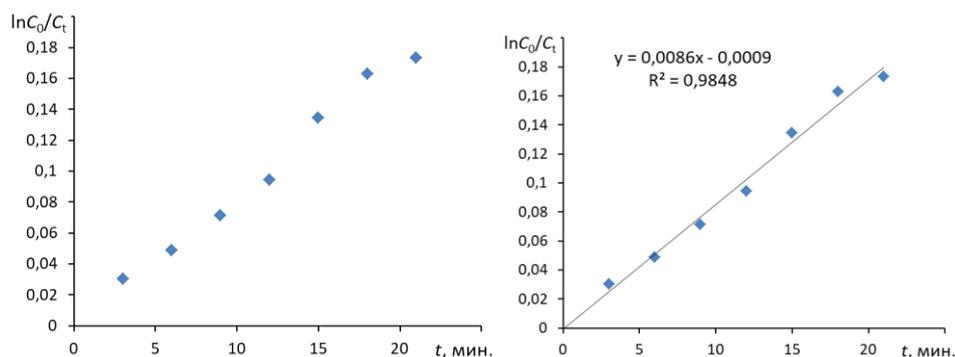


Рисунок 1 – Построение графической зависимости в предположении внешней диффузии и её обработка.

### Проверка отчёта

Преподаватель проверяет отчет и может вернуть его для исправления ошибок либо для переделки работы. Возврат отчета на исправление допускается не более двух раз и только в течение месяца со дня выполнения работы. По истечении этого срока, если отчет не принят, работа подлежит переделке с новым персональным заданием. Принятый отчет подлежит защите. На защите требуется знание теоретического и практического материала по защищаемой работе.

#### **4. РЕКОМЕНДОВАННЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

Предлагаемые работы охватывают полный цикл методик изучения сорбции в статических и динамических условиях с получением кинетических и термодинамических параметров процесса.

##### **4.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕТИКИ СОРБЦИИ**

С целью исследовать кинетику процесса готовят раствор с определенной начальной концентрацией, отмеряют массу сорбента, ориентируясь на соотношение ж:т от 5 до 10. Смесь сорбента и раствора помещают на перемешивающее устройство, включают перемешивание и отбирают пробы раствора через некоторые промежутки времени. Отобранные пробы анализируют. Зависимость концентрации от времени обрабатывают с целью получения продолжительности контакта фаз или иных кинетических характеристик.

##### **ОБОРУДОВАНИЕ И РЕАКТИВЫ**

Перемешивающее устройство (шейкер); бюретка объемом 25 мл – 1 шт.; мерный цилиндр объемом 250 мл – 1 шт.; мерная пипетка объемом 5 мл – 1 шт.; колба круглая объемом 500 мл – 1 шт.; колбы конические объемом 100 мл – 10 шт.; стакан химический объемом 150 мл – 1 шт.; стакан химический объемом 50 мл – 1 шт.; стакан химический объемом 250 – 300 мл – 1 шт.; гидроксид натрия – 0,1 н. раствор; фенолфталеин; растворы карбоновых кислот (муравьиной, уксусной).

##### **ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ**

1. В круглую колбу объемом 500 мл при помощи мерного цилиндра отмеряют 250 мл раствора кислоты, заданного преподавателем.
2. В коническую колбу № 1 вместимостью 100 мл мерной пипеткой на 5 мл отбирают пробу раствора кислоты, взятого на эксперимент, и оставляют в сторону.
3. В полиэтиленовом стакане взвешивают 15,0 г активированного угля.
4. Колбу с раствором помещают на шейкер, высыпают навеску угля в кислоту, включают перемешивание.
5. Каждые 3 минуты из колбы на шейкере мерной пипеткой объемом 5 мл отбирают пробы кислоты в конические колбы на 100 мл с № 2 по № 10.
6. После того, как все пробы отобраны, перемешивание останавливают.
7. Все пробы и исходный раствор кислоты, взятый для проведения серии экспериментов, анализируют на содержание кислоты методом индикаторного титрования с фенолфталеином.

##### **Методика анализа**

1. К каждой из проб (конические колбы с № 1 по № 10) прибавляют по 3-4 капли индикатора – фенолфталеина.
2. Добавляют дистиллированную воду, смывая капли фенолфталеина со стенок колбы, до толщины слоя жидкости от 5 до 15 мм.

3. Отобрать раствор щелочи в химический стакан объемом 50 мл.
4. Из стакана раствор щелочи налить в бюретку.
5. Выпустить воздух из носика бюретки, для чего поднять носик бюретки, подставить стакан со щелочью и нажать на шарик.
6. Довести объем щелочи в бюретке до отметки «0».
7. Титровать раствором гидроксидом натрия до перехода окраски фенолфталеина от бесцветной к малиновой, сохраняющейся при перемешивании в течение 30 с.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Масса навески угля  $g =$  \_\_\_\_\_ г
2. Концентрация раствора щелочи  $C_{(\text{NaOH})} =$  \_\_\_\_\_ экв/л.
3. Слабый электролит (название и химическая формула).
4. Ориентировочная концентрация слабого электролита (указана на емкости с кислотой).
5. Объем аликвоты  $V_a =$  \_\_\_\_\_ мл., взятой для проведения анализа
6. Таблица экспериментальных данных

№ колбы	Время, мин.	$V_{\text{NaOH}}$ , мл
1	0	
2	3	
3	6	
4	9	
5	12	
6	15	
7	18	
8	21	
9	24	
10	27	

#### ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

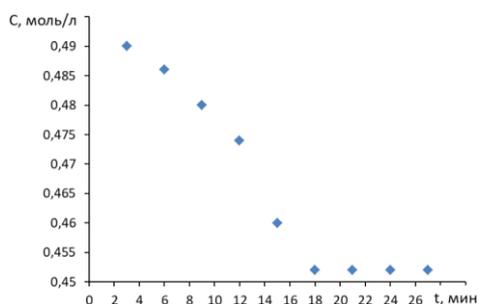
1. Заполняют таблицу, где концентрацию кислоты вычисляют по формуле

$$C_i = \frac{C_{\text{NaOH}} V_i}{V_a}$$

Изменение концентрации карбоновой кислоты в зависимость от продолжительности перемешивания

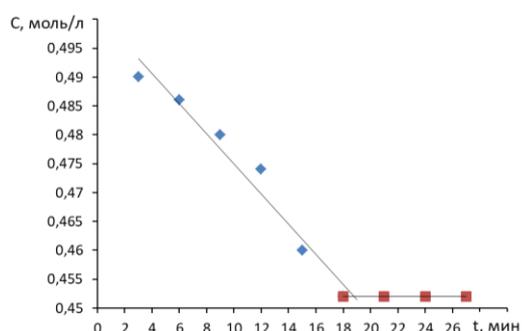
№ колбы	Время, мин.	$V_{\text{NaOH}}$ , мл	$C$ , моль/л
1	0		
2	3		
3	6		
4	9		
5	12		
6	15		
7	18		
8	21		
9	24		
10	27		

2. Строят зависимость концентрации раствора карбоновой кислоты от продолжительности перемешивания.



Зависимость концентрации карбоновой кислоты от продолжительности перемешивания

3. Выявляют продолжительность контакта фаз.



Обработка зависимость концентрации от времени для установления продолжительности контакта фаз

Продолжительность контакта фаз в примере, показанном на рисунке, составила 19 мин.

3. Вычисляют величину статической обменной емкости сорбента:

$$\text{СОЕ} = \frac{n_0 - n_\infty}{V_K} = \frac{C_0 V_0 - n_\infty}{V_K},$$

где  $V_K$  – объем катионита,  $\text{м}^3$ ;  $n_\infty$  – количество молей катионов металла, оставшихся в растворе на момент равновесия,  $n_\infty = C_{10}(V_0 - 50)$ .

4. Устанавливают лимитирующую стадию сорбции.

4.1. Выбирают диапазон данных от начала процесса до времени, соответствующему отсутствию зависимости концентрации от времени. В примере это временной интервал от 0 до 20 минут.

4.2. Заполняют таблицу

z номер пробы	t, МИН	$C_z$	$n_t$ , МОЛЬ	$zV_{\text{пр}}$	$C_t$ , МОЛЬ/Л	$-\ln(C_t/C_0)$	$\frac{C_0 - C_t}{C_0 - C_\infty}$	$\sqrt{t}$
		$C_0$		—		-	-	-
1	2	$C_1$		10				
2	4	$C_2$		20				
3	6	$C_3$		30				
...	...	...		.....				

где  $C_z$  – текущая концентрация катиона металла в растворе, моль/л;  $C_0$  – исходная концентрация катиона металла в растворе, моль/л.

Концентрации  $C_0$  и  $C_z$  вычисляют по формуле:

$$C = \frac{C_T V_T}{V_a},$$

где  $C_T$  – концентрация гидроксида натрия;  $V_T$  – эквивалентный объем гидроксида натрия, мл;  $V_a$  – объем пробы, взятый для анализа, мл,  $V_a = 5$  мл.

$C_t$  – текущая концентрация, приведенная к исходному объему, моль/л, которую вычисляют по формуле:

$$C_t = \frac{n_t}{V_0},$$

где  $n_t$  – количество вещества, оставшееся в растворе на текущий момент времени,  $n_t$  рассчитывается по формуле:

$$n_t = C_z (V_0 - z V_{пр}),$$

где  $V_{пр}$  – объем пробы, отобранный для последующего определения концентрации,  $V_{пр} = 5$  мл;  $z$  – номер пробы.

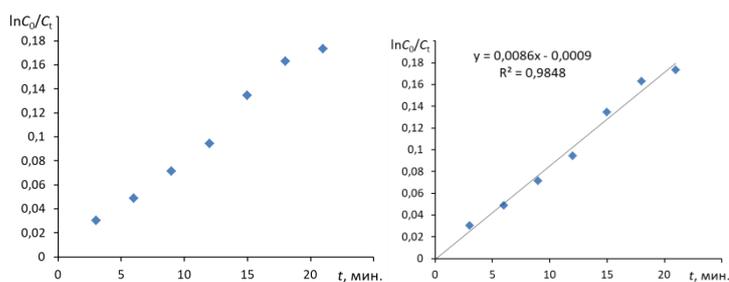
$C_\infty$  – величина равновесной концентрации кислоты в растворе, которую вычисляют по формуле

$$C_\infty = \frac{n_\infty}{V_0};$$

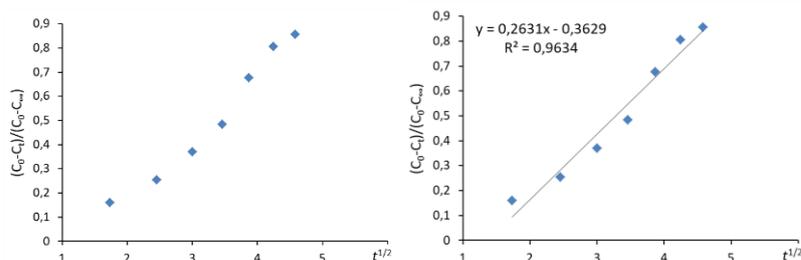
где

$$n_\infty = C_{10}(V_0 - 50)$$

4.3. Построить зависимость  $\ln(C_0/C_t) = f(t)$ , провести для нее линию тренда (формат: линейная, показывать уравнение и величину достоверности аппроксимации  $R^2$ )



4.4. Построить зависимость  $\frac{C_0 - C_t}{C_0 - C_\infty}$  от  $\sqrt{t}$ , провести для нее линию тренда (формат: линейная, показывать уравнение и величину достоверности аппроксимации  $R^2$ )



4.5. Сопоставить величины  $R^2$  для зависимостей п.п. 4.3. и 4.4 и выбрать вариант с  $R^2$  более близким к 1 (в примере лимитирующей стадией является процесс внешней диффузии).

При линейной зависимости  $\ln(C_0/C_\tau) = f(\tau)$  стадией, определяющей скорость процесса, является диффузия в тонком слое раствора в непосредственной близости от зерна сорбента («пленочная кинетика» или внешнедиффузионная кинетика).

При линейной зависимости  $\frac{C_0 - C_\tau}{C_0 - C_\infty}$  от  $\sqrt{\tau}$  стадией, определяющей скорость процесса, является диффузия в зерне сорбента («гелевая кинетика»).

4.6. Для выбранного варианта лимитирующей стадии, по значению углового коэффициента уравнения линии тренда определить величину константы скорости процесса.

#### 4.2 ПОЛУЧЕНИЕ И АНАЛИЗ ИЗОТЕРМЫ АДСОРБЦИИ

Для получения изотермы готовят серию растворов с различной концентрацией (от 4 до 10 штук) исследуемого вещества, отбирают одинаковые количества сорбента, сорбент переносят в емкости с растворами, помещают смеси на перемешивающее устройство и оставляют на определенное время. Продолжительность сорбции устанавливают заранее по результатам кинетического эксперимента. После сорбент отделяют от раствора, растворы анализируют. По результатам анализа строят изотерму сорбции в координатах  $\Gamma = f(C)$ . Изотерму обрабатывают и получают характеристики сорбента и/или сорбируемого вещества.

#### ОБОРУДОВАНИЕ И РЕАКТИВЫ

Перемешивающее устройство (шейкер); бюретка объемом 25 мл – 1 шт.; мерный цилиндр объемом 50 мл – 1 шт.; мерная пипетка объемом 5 мл – 1 шт.; колбы круглые объемом 250 мл – 4 шт.; колбы конические объемом 250 мл – 6 шт.; стакан химический объемом 150 мл – 1 шт.; стакан химический объемом 50 мл – 1 шт.; стакан химический объемом 250 – 300 мл – 1 шт.; воронка химическая - 4 шт.; фильтр беззольный «белая лента» – 4 шт.; гидроксид натрия – 0,1 н. раствор; фенолфталеин; растворы карбоновых кислот (муравьиной, уксусной).

#### ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

1. Для муравьиной и уксусной кислот приготовить 2 серии по 4 раствора в каждой путем последовательного разведения в 2 раза:

1.1. Отобрать пробу кислоты в химический стакан объемом 150 мл.

1.2. В круглые колбы № 2, № 3 и № 4 мерным цилиндром отобрать по 50 мл дистиллированной воды;

1.3. В колбы № 1 и № 2 при помощи мерного цилиндра поместить по 50 мл исходного раствора кислоты;

1.4. Из колбы № 2 при помощи мерного цилиндра 50 мл раствора перенести в колбу № 3 и перемешать.

1.5. Из колбы № 3 при помощи мерного цилиндра отобрать 50 мл раствора, перенести в колбу № 4, перемешать.

1.6. Из колбы № 4 мерным цилиндром отобрать 50 мл раствора и выбросить.

2. В каждую колбу с приготовленными растворами высыпать по навеске 3 г активированного угля.

3. Колбы поставить на перемешивающее устройство **на время, установленное в п. 1.1.**

4. Осторожно слить растворы через бумажный фильтр в конические колбы под теми же номерами, стараясь, чтобы основная масса угля осталась в круглой колбе.

5. Определить концентрацию кислоты в исходном  $C_0$  и равновесных  $C^*$  растворах по следующей методике.

5.1. В 2 конические колбы мерной пипеткой объемом 5 мл отобрать по 5 мл пробы.

5.2. В каждую колбу добавить немного дистиллированной воды (до толщины слоя жидкости около 5 мм).

5.3. В каждую колбу прилить по 3-4 капель индикатора – фенолфталеина.

5.4. Отобрать раствор щелочи в химический стакан объемом 50 мл.

5.5. Из стакана раствор щелочи налить в бюретку.

5.6. Выпустить воздух из носика бюретки, для чего поднять носик бюретки, подставить стакан со щелочью и нажать на шарик.

5.7. Довести объем щелочи в бюретке до отметки «0».

5.8. Титровать одну из колб с пробой кислоты раствором гидроксидом натрия до перехода окраски фенолфталеина от бесцветной к малиновой, сохраняющейся при перемешивании в течение 30 с.

5.9. Полученное значение объема щелочи занести в таблицу 1 протокола лабораторной работы.

5.10. Довести объем щелочи в бюретке до отметки «0» и провести титрование пробы во второй конической колбе.

5.11. Полученное значение объема щелочи занести в таблицу 1 протокола лабораторной работы.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Масса навески угля  $g =$  \_\_\_\_\_ г

2. Концентрация раствора щелочи  $C_{(\text{NaOH})} =$  \_\_\_\_\_ экв/л.

3. Слабый электролит (название и химическая формула).

4. Ориентировочная концентрация слабого электролита (указана на емкости с кислотой).

5. Объем аликвоты  $V_a =$  \_\_\_\_\_ мл.

6. Результаты анализа проб кислоты

№ пробы	Концентрация	$V_a$ , мл	$V_{1(\text{NaOH})}$ , мл	$V_{2(\text{NaOH})}$ , мл	$V_{\text{ср}(\text{NaOH})}$ , мл
<i>Муравьиная кислота</i>					
исходная	$C_0$	5			$V_0 =$ _____
1	$C_0$	5			$V_1 =$ _____
2	$C_0/2$	5			$V_2 =$ _____
3	$C_0/4$	5			$V_3 =$ _____
4	$C_0/8$	5			$V_4 =$ _____
<i>Уксусная кислота</i>					
исходная	$C_0$	5			$V_0 =$ _____
1	$C_0$	5			$V_1 =$ _____
2	$C_0/2$	5			$V_2 =$ _____
3	$C_0/4$	5			$V_3 =$ _____
4	$C_0/8$	5			$V_4 =$ _____

#### ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Рассчитать значение концентрации раствора кислоты, взятого на приготовление растворов и проведение адсорбции по формуле:

$$C_0 = \frac{C_{\text{NaOH}}V_0}{V_a},$$

где  $V_0$  – средний объем гидроксида натрия, затраченный на титрование пробы исходной кислоты, мл, (см. табл. 1).

Полученное значение занести в строку 1 графы « $C_0$ » таблицы 2.

2. Вычислить концентрации растворов, полученных согласно п. 3 раздела «Выполнение работы» и занести их в строки 2-4 графы « $C_0$ » таблицы 2.

3. По результатам титрования проб после адсорбции вычислить значения равновесных концентраций кислоты по формуле

$$C_i^* = \frac{C_{\text{NaOH}}V_i}{V_a},$$

где  $V_i$  – средний объем гидроксида натрия, затраченный на титрование пробы кислоты после адсорбции, мл, (см. табл. 1).

Полученные значения занести в графу « $C^*$ » таблицы 2.

4. Вычислить изменение концентрации кислоты в процессе адсорбции по формуле:

$$\Delta C = C_0 - C^*.$$

5. Вычислить значения удельной адсорбции растворенного вещества  $\Gamma$  по формуле

$$\Gamma = \frac{\Delta C V}{m_s},$$

где  $V$  – объем кислоты, взятый на адсорбцию, л;  $m_s$  – навеска адсорбента (активированного угля), кг.

6. Заполнить таблицу 2.

**Таблица 2. Данные для построения изотерм адсорбции**

№	концентрация раствора, моль/л		$\Delta C$ , моль/л	$\Gamma$ , моль/кг	$C^*/\Gamma$	$\lg C^*$	$\lg \Gamma$	$1/C^*$	$1/\Gamma$
	$C_0$	$C^*$							
1									
2									
3									
4									

7. Построить изотерму удельной адсорбции кислоты в координатах  $\Gamma = f(C)$  (рис. 1).

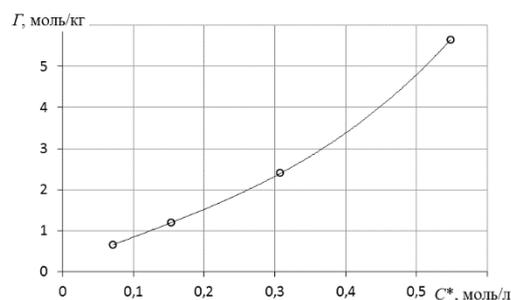


Рис. 1. Изотерма удельной адсорбции.

8. Построить график линейной формы изотермы адсорбции Ленгмюра в координатах  $1/\Gamma = f(1/C)$  (рис. 2).

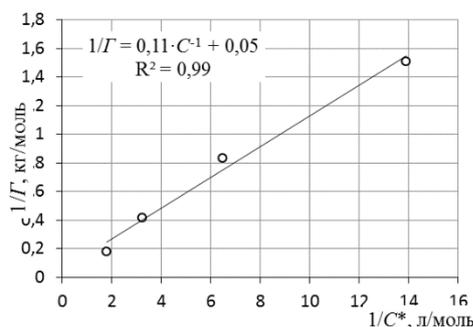


Рис. 2. Линейная форма уравнения адсорбции Ленгмюра в координатах  $1/\Gamma = f(1/C)$ .

$$\frac{1}{\Gamma_{\infty}} = 0,05; \quad \frac{1}{\Gamma_{\infty}K} = 0,11.$$

9. По уравнению линии тренда определить константы уравнения Ленгмюра  $\Gamma_{\infty}$  и  $K$ .

10. Оценить удельную поверхность активированного угля по уравнению

$$S_0 = \Gamma_{\infty} N_A S_M,$$

где  $N_A$  – число Авогадро;  $S_M$  – площадь поперечного сечения молекулы адсорбата, равная для карбоновых кислот  $20,5 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$ .

11. Сопоставить значения величины предельной адсорбции для муравьиной и уксусной кислоты. Сделать вывод о влиянии дины углеводородного радикала на предельную адсорбцию.

### 4.3 ПОЛУЧЕНИЕ И АНАЛИЗ ВЫХОДНОЙ КРИВОЙ СОРБЦИИ

Получить выходную кривую сорбента. Через колонку (бюретку) заполненную слоем ионита высотой не менее 10 см медленно пропускают раствор соли металла известной концентрации. На выходе из колонки раствор собирают порциями в мерные цилиндры, точно определяя объем каждой порции и содержание поглощаемых ионов. По данным эксперимента строят график в координатах: объем раствора, прошедшего через ионит – концентрация иона. По графику определяют ПОЕ и ДОЕ.

#### ОБОРУДОВАНИЕ И РЕАКТИВЫ

Колонка с катионитом; мерный цилиндр объемом 10 мл – 2 шт.; пипетка Мора объемом 10 мл – 1 шт.; колбы конические объемом 250 мл – 2 шт.; бюретка для титрования объемом 25 мл – 1 шт.; стакан химический объемом 100 мл – 2 шт.; стакан химический объемом 50 мл – 2 шт.; Трилон Б – 0,05 М раствор; мурексид; хлорид аммония – 1 н. раствор; гидроксид аммония – разбавленный 1:1; сульфаты меди, никеля, кобальта – 0,05 н. растворы.

#### ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

1. Получить от преподавателя раствор соли металла для исследования.
2. Отобрать пробу раствора соли металла в маркированный химический стакан объемом 100 мл.
3. Провести анализ исходного раствора соли металла.
  - 3.1. Анализ содержания меди (2+):

3.1.1. В две конические колбы вместимостью 250 мл мерной пипеткой вместимостью 10 мл отобрать аликвоты объемом 10 мл.

3.1.2. К отобранным аликвотам добавить по каплям при перемешивании водный раствор аммиака до получения прозрачного синего раствора.

3.1.3. К каждой из проб добавить немного сухого индикатора «мурексид». После добавления индикатора цвет раствора должен быть достаточно интенсивным, но не слишком насыщенным.

3.1.4. Прилить дистиллированной воды до объема 20-30 мл.

3.1.5. В химический стакан вместимостью 50 мл отобрать некоторое количество раствора трилона Б.

3.1.6. Из стакана раствор трилона Б налить в бюретку.

3.1.7. Выпустить воздух из носика бюретки, для чего поднять носик бюретки, подставить стакан с трилоном Б и нажать на шарик.

3.1.8. Довести объем трилона Б в бюретке до отметки «0».

3.1.9. Титровать одну из колб с пробой раствором трилона Б до перехода окраски до перехода окраски индикатора в эквивалентной точке от цвета хаки к сиренево-фиолетовому. Полученное значение объема титранта записать в протокол лабораторной работы.

3.1.10. Довести объем щелочи в бюретке до отметки «0» и провести титрование пробы во второй конической колбе. Полученное значение объема титранта записать в протокол лабораторной работы.

3.2. *Анализ содержания кобальта и никеля.*

3.2.1. В две конические колбы вместимостью 250 мл мерной пипеткой вместимостью 10 мл отобрать аликвоты объемом 10 мл.

3.2.2. К каждой из аликвот при помощи мерного цилиндра вместимостью 10 мл прилить по 5-7 мл раствора хлорида аммония.

3.2.3. К каждой из проб добавить немного сухого индикатора «мурексид». После добавления индикатора цвет раствора должен быть достаточно интенсивным, но не слишком насыщенным.

3.2.4. Прилить дистиллированной воды до объема 20-30 мл.

3.2.5. В химический стакан вместимостью 50 мл отобрать некоторое количество раствора трилона Б.

3.2.6. Из стакана раствор трилона Б налить в бюретку.

3.2.7. Выпустить воздух из носика бюретки, для чего поднять носик бюретки, подставить стакан с трилоном Б и нажать на шарик.

3.2.8. Довести объем трилона Б в бюретке до отметки «0».

3.2.9. Титровать одну из колб с пробой раствором трилона Б до перехода окраски до перехода окраски индикатора в эквивалентной точке от желтого цвета к фиолетовому. Полученное значение объема титранта записать в протокол лабораторной работы.

3.2.10. В процессе титрования раствор краснеет и следует поддерживать желтую окраску раствора, добавляя несколько капель аммиака.

3.2.11. Довести объем щелочи в бюретке до отметки «0» и провести титрование пробы во второй конической колбе. Полученное значение объема титранта записать в протокол лабораторной работы.

4. Налить в колонку раствор соли металла. Осторожно открыть кран так, чтобы раствор проходил через ионит со скоростью 3 – 4 мл в минуту (примерно 1 капля в секунду).

5. Фильтрат собирать в мерный цилиндр порциями по 10 мл.

6. Каждую порцию анализировать на содержание в ней иона металла по методикам, описанным в п. 3. Результаты титрования заносить в таблицу 8 протокола лабораторной работы.

7. Пропускать раствор соли металла через колонку продолжать до тех пор, пока концентрация металла на выходе из колонки не станет равной исходной. ИЛИ! Объем трилона Б на титрование порции из колонки не станет равным объему трилона Б при титровании исходной соли металла.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Наименование соли металла и ее химическая формула.
2. Масса катионита:  $m =$  \_\_\_\_\_ г.
3. Объем катионита:  $V_K =$  \_\_\_\_\_ мл.
4. Концентрация раствора трилона Б:  $C_T =$  \_\_\_\_\_ моль/л.
5. Объем аликвоты:  $V_a =$  \_\_\_\_\_ мл.
6. Объем трилона Б, расходуемый на титрование исходного раствора соли металла:  
 $V_T^1 =$  \_\_\_\_\_ мл.;  $V_T^2 =$  \_\_\_\_\_ мл.;  $\bar{V}_T =$  \_\_\_\_\_ мл.
7. Данные для расчета выходной кривой сорбции

№	Объем соли металла, пропущенный через колонку, мл	Объем пробы, мл	Объем трилона Б, мл
1	0	10	
2	10	10	
3	20	10	
4	30	10	
5	40	10	
6	50	10	
7	60	10	
8	70	10	
9	80	10	
10	90	10	
11	100	10	
12	110	10	
13	120	10	
14	130	10	
15	140	10	
16	150	10	
17	160	10	
18	170	10	
19	180	10	
20	190	10	
21	200	10	

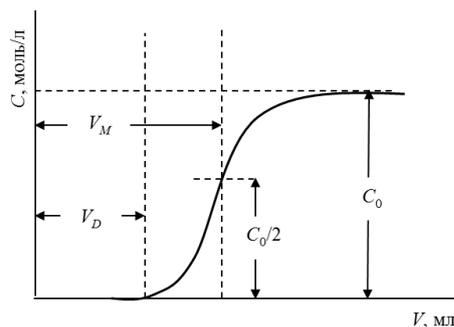
#### ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. По результатам эксперимента заполнить таблицу:

№	Объем соли металла, пропущенного через колонку $V$ , мл	$V_T$ , мл	$C(\text{MeSO}_4)$ , моль/л
1	10		
2	20		
3	30		
...	...		

$$C(\text{MeSO}_4) = \frac{C_T V_T}{V_a}$$

2. Построить график выходной кривой ионообменной адсорбции



Обработка выходной кривой ионообменной адсорбции.

3. Вычислить полную обменную емкость ионита по уравнению

$$\text{ПОЕ} = \frac{C_0 V_M}{m}$$

где  $C_0$  – исходная концентрация иона металла в растворе, моль/л;  $V_M$  – объем раствора, соответствующий половине исходной концентрации и определяемый графически по выходной кривой, мл;  $m$  – масса сухого ионита, г.

4. Вычислить динамическую обменную емкость до проскока по уравнению

$$\text{ДОЕ} = \frac{C_0 V_D}{m}$$

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Опишите признаки и количественные характеристики дисперсных систем, основные принципы классификации дисперсных систем; поясните, в чём заключается отличие понятия «золь» от понятия «гель», приведите примеры зольей и гелей, встречающихся в технологиях переработки минерального сырья.

2. Опишите основные виды межмолекулярного взаимодействия.

3. Перечислите условия и основные способы получения дисперсных систем; укажите, какие методы получения дисперсных систем используют в технологиях обогащения полезных ископаемых и при переработке минерального сырья.

4. Опишите явление, которое приводит к появлению т.н. поверхностного слоя, покажите, как это явление влияет на энергию частиц поверхностного слоя; приведите способы описания поверхностного слоя.

5. Опишите величину, которая позволяет оценить энергетическое состояние молекул поверхностного слоя, приведите математические уравнения, применяемые для характеристики этой величины, укажите, как эта величина зависит от температуры и природы вещества.

6. Опишите способы экспериментального определения величины поверхностного натяжения.

7. Опишите сущность понятия «поверхностная активность», укажите уравнения связи поверхностного натяжения и поверхностной активности.

8. Выведите уравнение, описывающее условие самопроизвольного протекания поверхностного процесса, укажите, какие параметры и каким образом должны изменяться для обеспечения самопроизвольного протекания процесса в поверхностном слое.

9. Опишите явления когезии и адгезии, приведите уравнения, описывающие эти явления; укажите, в каких технологических процессах применяют явление когезии и/или адгезии, какие технические свойства веществ и материалов могут быть описаны при помощи силы когезии или силы адгезии.

10. Опишите явление смачивания, приведите уравнение связи смачивания и поверхностного натяжения; поясните, в каких технологических процессах применяют явление смачивания.

11. Опишите понятие «капиллярные явления»; приведите уравнение связи капиллярного давления с параметрами капилляра и поверхностным натяжением жидкости; укажите. Как связаны капиллярное давление и понятие изотермической перегонки и конденсации в порах.

12. Опишите основные виды сорбции; определите параметр самопроизвольности процесса для разных видов сорбции; приведите математические уравнения для расчёта сорбции по результатам эксперимента, сорбции по Гиббсу и абсолютной сорбции.

13. Приведите фундаментальное уравнение сорбции Гиббса; укажите влияние различных факторов на сорбцию.

14. Приведите графическое изображение изотермы сорбции и основные уравнения, применяемые для описания изотермы; покажите, как на величину сорбции влияют параметры молекулы поверхностно-активных веществ согласно правилу Дюкло-Траубе.

15. Приведите вывод изотермы сорбции Ленгмюра; покажите связь уравнения сорбции Ленгмюра и эмпирического уравнения Шишковского, приведите преобразование изотермы сорбции Ленгмюра в уравнение Генри.

16. Перечислите особенности молекулярной сорбции на твердой поверхности, приведите уравнение полимолекулярной сорбции БЭТ и покажите преобразование уравнение БЭТ в изотерму сорбции Ленгмюра.

17. Перечислите основные факторы, влияющие на сорбцию на пористом и непористом сорбенте; укажите, как природа сорбента, сорбтива, дисперсная среда влияют на процесс сорбции на твердой поверхности.

18. Перечислите особенности ионной (химической) сорбции; укажите, как природа иона соотносится с величиной сорбции (ряды Гедройца и/или Гофмейстера).

19. Опишите основные показатели сорбции на ионитах; приведите уравнение Никольского; опишите химические процессы сорбции на катионитах и анионитах.

20. Опишите механизмы хемосорбции на поверхности кристалла с образованием двойного электрического слоя; поясните понятие «изоэлектрическая точка»; приведите

структуру двойного электрического слоя и поясните возникновение электрокинетического потенциала.

21. Опишите влияние различных факторов: температуры, концентрации, природы электролита на величину электрокинетического потенциала и устойчивость лиофобного золя.

22. Перечислите явления, называемые электрокинетическими, укажите, в каких технологических процессах применяют электрокинетические явления, связь интенсивности электрокинетических явлений и величины электрокинетического потенциала.

23. Опишите молекулярно-кинетические свойства дисперсных систем, понятие среднего сдвига.

24. Опишите, что понимают под терминами «агрегативная устойчивость» и «кинетическая устойчивость дисперсных систем; приведите уравнение кинетической устойчивости; поясните понятие «порог коагуляции» с позиций теории Дерягина-Ландау и согласно правилу Шульце-Гарди.

25. Опишите оптические свойства дисперсных систем и их применение в области аналитической химии и для определения размеров дисперсных частиц.

## **6. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ В СЕТИ ИНТЕРНЕТ**

### **6.1. ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Дерябин В.А., Фарафонтова Е.П. Физическая химия дисперсных систем. Учебное пособие для вузов. М.: Юрайт. 2017. 86 с. <https://www.biblio-online.ru/viewer/3CCF11B9-5D0A-46F2-97AC-CF4B2DE5B86B#page/2>

2. Яковлева А.А. Коллоидная химия: учебное пособие для вузов. 2-е издание, исправленное и дополненное. М.: Юрайт. 2017. 2019 с. <https://www.biblio-online.ru/viewer/23DE9706-D989-4971-B9EE-FE191939881E#page/2>

3. Коллоидная химия: учебник / М.И. Гельфман, О.В. Ковалевич, В.П. Юстратов. СПб.: Лань. 2017. 336 с. <https://e.lanbook.com/book/91307>

4. Волков В.А. Коллоидная химия. Поверхностные явления и дисперсные системы: учебник СПб.: Лань. 2015. 672 с. <https://e.lanbook.com/book/65045>

### **6.2. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии: учебник. СПб.: Лань. 2010. 416 с. <https://e.lanbook.com/book/4027>.

2. Захарченко В.Н. Коллоидная химия. Учебник для вузов. 2-е издание, переработанное и дополненное. М: Высшая школа, 1989г. 238 с. [http://www.studmed.ru/zaharchenko-vn-kolloidnaya-himiya\\_e5c7bf89249.html](http://www.studmed.ru/zaharchenko-vn-kolloidnaya-himiya_e5c7bf89249.html)

3. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. Учебник для вузов. 2-е издание, переработанное и дополненное. М.: Химия, 1988. 464 с. [http://www.studmed.ru/frolov-yug-kurs-kolloidnoy-himii-poverhnostnye-yavleniya-i-dispersnye-sistemy\\_826d735ece8.html](http://www.studmed.ru/frolov-yug-kurs-kolloidnoy-himii-poverhnostnye-yavleniya-i-dispersnye-sistemy_826d735ece8.html)

4. Myers D. Surfaces, interfaces, and colloids. Principles and Applications. Second edition. New York. John Wiley & Sons. 519 p. [http://hky.njnu.edu.cn/jpkc/wzattach/211908\\_933929.pdf](http://hky.njnu.edu.cn/jpkc/wzattach/211908_933929.pdf)

### **6.3. ЭЛЕКТРОННО-БИБЛИОТЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ**

1. Электронно-библиотечная система «Лань»; <https://e.lanbook.com/books>

2. Электронно-библиотечная система «Znanium.com»; <http://znanium.com>

3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн»; <http://biblioclub.ru>

4. Электронно-библиотечная система «Библиокомплектатор»; <http://www.bibliocomplectator.ru>

5. Электронно-библиотечная система «ЭБС ЮРАЙТ» [www.biblio-online.ru](http://www.biblio-online.ru).

#### **6.4. ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНЫЕ СИСТЕМЫ**

1. Электронный периодический справочник «Система ГАРАНТ»; [www.garant.ru](http://www.garant.ru)

2. Справочно-поисковая система Консультант Плюс; [www.consultant.ru/](http://www.consultant.ru/)

#### **6.5. ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ**

1. Электронная база данных. Термические константы веществ. <http://www.chem.msu.su/cgi-bin/tkv.pl>

2. Научная электронная библиотека ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>

3. Научная электронная библиотека «eLIBRARY»: <https://elibrary.ru/>

4. Электронная база данных Scopus <https://scopus.com>

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	2
1. Тематика самостоятельной работы .....	3
2. Подготовка к практическим занятиям.....	3
3. Рекомендации к оформлению отчета .....	4
4. Рекомендованный лабораторный практикум .....	7
5. Контрольные вопросы для самопроверки .....	17
6. Рекомендуемая литература и источники в сети Интернет .....	19