

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
Кафедра фізичної хімії
Кафедра неорганічної хімії
Кафедра хімічного матеріалознавства



Робоча програма навчальної дисципліни

Фізичні методи дослідження

(група 1)

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

галузь знань 10 Природничі науки

напрямок підготовки 102 хімія

освітня програма освітньо-професійна програма «Хімія»

спеціалізація _____

вид дисципліни за вибором

факультет хімічний

2020 / 2021 - 2021 / 2022 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження вченою радою хімічного факультету


“27” серпня 2020 року, протокол № 8

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

Калугін Олег Миколайович, к.х.н., професор кафедри неорганічної хімії, декан хімічного факультету, Черножук Тетяна Василівна, к.х.н., доцент кафедри неорганічної хімії, Іванов Володимир Венедиктович, д.х.н., професор кафедри хімічного матеріалознавства, Шкумат Анатолій Петрович, к.х.н., доцент кафедри хімічного матеріалознавства, Рубцов Володимир Іванович, к.х.н., доц. кафедри фізичної хімії,

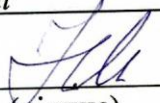
Програму схвалено на засіданні кафедри неорганічної хімії

Протокол від “26” серпня 2020 року № 1
В.о. завідувача кафедри неорганічної хімії


(підпис) В'юник І.М.
(прізвище та ініціали)

Програму схвалено на засіданні кафедри фізичної хімії

Протокол від “27” серпня 2020 року № 1
Завідувач кафедри фізичної хімії


(підпис) Мчедлов-Петросян М.О.
(прізвище та ініціали)

Програму схвалено на засіданні кафедри хімічного матеріалознавства

Протокол від “26” серпня 2020 року № 1
Завідувач кафедри хімічного матеріалознавства


Коробов О.І.

Програму погоджено з гарантом освітньо-професійної програми «Хімія»
назва освітньої програми

Гарант освітньо-професійної програми «Хімія»

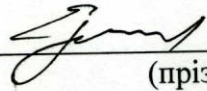

(підпис) Калугін О.М.
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією

хімічного факультету
назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “27” серпня 2020 року, протокол № 2

Голова методичної комісії хімічного факультету


(підпис) Єфімов П.В.
(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “**Фізичні методи дослідження**” складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки

«Бакалавр»

(назва рівня вищої освіти, освітньо-кваліфікаційного рівня)

спеціальності (напряму) 102 Хімія

спеціалізації Хімія

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни є поглиблення теоретичних та практичних знань у галузі використання фізичних методів дослідження .

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є:

- поглиблене вивчення теоретичних основ та методології застосування фізичних методів дослідження;
- знайомство студентів з сучасними експериментальним обладнанням, яке може бути застосовано для дослідження молекул, речовин, хімічних процесів та явищ;
- набуття практичних навичок шляхом виконання лабораторних робіт та математичної обробки одержаних експериментальних даних.

1.3. Кількість кредитів - **10**

1.4. Загальна кількість годин - **300**

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
За вибором	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
4-й	4-й
Семестр	
7-й	7-й
Лекції	
24 год.	6 год.
Практичні, семінарські заняття	
0 год.	0 год.
Лабораторні заняття	
72 год.	30 год.
Самостійна робота	
204 год.	264 год.
Індивідуальні завдання	
0 год.	

1.6. Заплановані результати навчання

Згідно з вимогами освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

знати: теоретичні основи та методологію застосування фізичних методів дослідження;

вміти: виконувати дослідження молекул, речовин, хімічних процесів та явищ із застосуванням сучасного експериментального обладнання.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Лекції (частина 1)

Тема 1. Електрична провідність розчинів електролітів: основні потягтя визначення та одиниці виміру. Застосування закону Ома для провідників другого роду.

Експериментальні основи методу. Вимірювання електропровідності (опору) розчинів електролітів. Похибки вимірювання та способи їх усунення. Стандарти ЕП та калібровка кондуктометричних комірок.

Концентраційна залежність молярної ЕП. Можливості кондуктометрії для визначення констант іонних рівноваг та граничних молярних провідностей в електролітних розчинах. Переваги та недоліки методу.

Математичні основи методу. Моделі електролітного розчину. Теоретичні рівняння для коефіцієнтів активності та молярної електричної провідності. Розрахунок рівноважного складу електролітного розчину з урахуванням коефіцієнтів активності. Застосування нелінійного МНК та методів багатомірної нелінійної оптимізації.

Несиметричні, змішані і складно асоційовані електроліти.

Можливості кондуктометрії для визначення констант компелксоутворення.

Розділ 1. Лабораторні заняття (частина 2)

Тема 2. Калібровка кондуктометричної комірки.

Тема 3. Експериментальне дослідження концентраційної залежності молярної електричної провідності розчину 1-1 електроліту.

Тема 4. Розрахунок константи асоціації та граничної молярної електропровідності 1-1 електроліту за власними кондуктометричними даними (за допомогою програми LOPT).

Тема 5. Визначення енергетичних та структурних характеристик іонної сольватації за експериментальними константами іонної асоціації та граничними молярними провідностями іонів.

Розділ 2. Лекції (частина 1)

Тема 6. Молекулярна спектроскопія УФ і видимій області

Електронні спектри поглинання. Частотні інтервали. Уявлення про колір речовини. Співвідношення між основними і додатковими кольорами. Феноменологічні характеристики спектрів: інтенсивності, спектральні зсуви. Поняття про хромофор і ауксохром. Закон Бугера-Ламберта-Берра та його порушення.

Квантово-хімічна теорія електронної спектроскопії. Основне і збуджені стани. Енергії переходів, перехідні моменти, сили осциляторів. Основні характеристики електронно-збуджених станів (геометрія, дипольні моменти, зарядовий розподіл, локалізація збудження). Електронно-коливальні переходи. Принцип Франка-Кондона. Орбітальна природа електронних переходів. Типові спектри поглинання.

Зв'язок молекулярної структури і спектрів. Спектроскопія комплексних сполук. Природні органічні пігменти. Бензоліне поглинання (Систематика переходів за Кларом і Платтом). Ціанінові барвники, халкони, донорно-акцепторні похідні бензолу і нафталіну. Трифенілметанові барвники. Ефект Кіпріанова. Адитивні схеми розрахунку спектрів.

Вплив розчинників на електронні спектри поглинання. Поляризаційно-континуальна модель. Сольватохромія бетаїну.

Техніка експерименту: призмові спектральні прилади, спектральні прилади з дифракційними решітками (гратками); однопроменеві спектрофотометри, двопробеневі спектрофотометри для УФ- і видимої області, двохвилеві спектрофотометри.

Похибки спектрофотометричних вимірювань. Способи підвищення точності вимірів. Спектроскопія з диференціюванням (похідна спектроскопія), різницева спектроскопія і двоохвильова спектроскопія.

Розділ 2. Лабораторні заняття (частина 2)

Тема 7. Дослідження електронних спектрів поглинання неорганічних та органічних речовин та матеріалів (використання кювет змінної товщини, похідна спектроскопія, дослідження форми спектральних кривих органічних речовин в залежності від різних агрегатних станів тощо).

Математичний аналіз структури спектрів поглинання та випромінювання органічних і неорганічних речовин.

Тема 8. Фотометричне титрування (дослідження залежності спектру поглинання і оптичної густини фенолового червоного при 550 нм від рН).

Визначення константи іонізації тимолового синього спектрофотометричним методом.

Тема 9. Визначення вмісту кофеїну в чаї

Тема 10. Харчові барвники в продуктах харчування та лікарських засобах – виявлення та встановлення концентрації.

Розділ 3. Лекції (частина 1)

Тема 11. Загальні питання електрохімії та теорії розчинів електролітів.

Стрибки потенціалів на межі розподілу фаз. Електрорушійна сила Електроли, типи електродів. Електроли першого, другого, третього роду. Окисно-відновлювальні електроли. Мембранні електроли. Скляний електрод, теорія скляного електроду. Рівняння Нернста для електроду та гальванічного елемента. Класифікація гальванічних елементів. Хімічні та концентраційні елементи Термодинаміка електрохімічних елементів. Ланцюги з переносом та без переносу. Дифузійний потенціал та його оцінка.

Теорія розчинів електролітів.. Коефіцієнти активності іонів Теорія Дебая-Гюкеля. Сольватація іонів та молекул. Теорія Борна сольватації іонів. Іонні рівноваги в розчинах електролітів. Іонний добуток розчинника. Розчинність. Добуток розчинності. Комплексоутворення в розчинах. Кислотність розчинів. Стандартизація рН, буферні розчини. Особливості використання неводних розчинів. Потенціометричне титрування та його застосування для хімічного аналізу та визначення фізико-хімічних та термодинамічних характеристик процесів.

Тема 12. Електрометричні методи дослідження речовин та властивостей розчинів електролітів

Суть методу електрорушійних сил (ЕРС) гальванічних кіл. Прямі та посередні потенціометричні дослідження. Визначення стандартних ЕРС у середовищах з високими, середніми та низькими значеннями діелектричної сталості.

Властивості розчинів електролітів, що можна визначити за допомогою гальванічних кіл *без переносу*: концентраційні коефіцієнти активності, первинний ефект середовища, константи дисоціації слабких електролітів, комплексоутворення, іонний добуток середовища, термодинамічні характеристики дисоціації, сольватації іонів та недисоційованих часток у розчинах.

Використання гальванічних кіл *з переносом* для визначення констант дисоціації слабких електролітів, іонного добутку середовища, розчинності, чисел переносу іонів.

Іонометрія. Кислотність розчинів та її визначення електрометричним методом. Методи стандартизації потенціометричного визначення кислотності у воді та неводних розчинах, метод АНБС. Метод використання водних стандартів для визначення кислотності в неводних середовищах (метод В.В.Александрова). Метод стандартизації та визначення кислотності у розчинах з високою іонною силою (метод Н.П. Комаря).

Поняття про реальну активність окремих іонів та її зв'язок з хімічною активністю. Метод вольта-потенціалів для визначення реальної активності іонів.

Посередні потенціометричні дослідження. Потенціометричне титрування, диференціююча дія розчинників. Визначення констант рівноваг за даними потенціометричного титрування. Метод стандартних додатків.

Розділ 3. Лабораторні заняття (частина 2)

Тема 13. Визначення іонного добутку води в колах без переносу з водневим електродом.

Тема 14. Визначення константи дисоціації води в буферних системах в колах без переносу

Тема 15. Визначення добутку розчинності малорозчинної сполуки срібла за даними седиментаційного потенціометричного титрування.

Тема 16. Визначення константи дисоціації слабкої кислоти за кривою потенціометричного титрування.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усь го	у тому числі					усь ого	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с.р.		л	п	лаб.	інд.	с.р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Розділ 1. Лекції (частина 1)												
Тема 1.	24	8				16	26	2				24
Разом за розділом 1 (ч 1)	24	8				16	26	2				24
Розділ 1. Лабораторні заняття (частина 2)												
Тема 2.	19			6		13	18			2		16
Тема 3.	19			6		13	18			2		16
Тема 4.	19			6		13	19			3		16
Тема 5.	19			6		13	19			3		16
Разом за розділом 1 (ч 2)	76			24		52	74			10		64
Розділ 2. Лекції (частина 1)												
Тема 6.	24	8				16	26	2				24
Разом за розділом 2 (ч 1)	24	8				16	26	2				24
Розділ 2. Лабораторні заняття (частина 2)												
Тема 7.	19			6		13	19			3		16
Тема 8.	19			6		13	19			3		16
Тема 9.	19			6		13	18			2		16
Тема 10.	19			6		13	18			2		16
Разом за розділом 2 (ч 2)	76			24		52	74			10		64
Розділ 3. Лекції (частина 1)												
Тема 11.	8	2				6	8	1				10
Тема 12.	16	6				10	16	1				14
Разом за розділом 3 (ч 1)	24	8				16	26	2				24
Розділ 3. Лабораторні заняття (частина 2)												
Тема 13.	19			6		13	19			3		16
Тема 14.	19			6		13	18			2		16
Тема 15.	19			6		13	19			3		16
Тема 16.	19			6		13	18			2		16
Разом за розділом 3 (ч 2)	76			24		52	74			10		64
Усього годин	300	24		72		204	300	6		30		264

4. Теми лабораторних занять

№ Теми	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
2	Калібровка кондуктометричної комірки.	6	2
3	Експериментальне дослідження концентраційної залежності молярної електричної провідності розчину 1-1 електроліту	6	2
4	Розрахунок константи асоціації та граничної молярної електропровідності 1-1 електроліту за власними кондуктометричними даними (за допомогою програми LOPT)	6	3
5	Визначення енергетичних та структурних характеристик іонної сольватації за експериментальними константами іонної асоціації та граничними молярними провідностями іонів.	6	3
7	Дослідження електронних спектрів поглинання неорганічних та органічних речовин та матеріалів (використання кювет змінної товщини, похідна спектроскопія, дослідження форми спектральних кривих органічних речовин в залежності від різних агрегатних станів тощо). Математичний аналіз структури спектрів поглинання та випромінювання органічних і неорганічних речовин.	6	3
8	Фотометричне титрування (дослідження залежності спектру поглинання і оптичної густини фенолового червоного при 550 нм від рН). Визначення константи іонізації тимолового синього спектрофотометричним методом.	6	3
9	Визначення вмісту металів із використанням реакцій комплексоутворення.	6	2
10	Визначення вмісту кофеїну в чаї Харчові барвники в продуктах харчування та лікарських засобах – виявлення та встановлення концентрації.	6	2
13	Визначення іонного добутку води в колах без переносу з водневим електродом.	6	3
14	Визначення константи дисоціації води в буферних системах в колах без переносу	6	2
15	Визначення добутку розчинності малорозчинної сполуки срібла за даними седиментаційного потенціометричного титрування.	6	3
16	Визначення константи дисоціації слабкої кислоти за кривою потенціометричного титрування	6	2
	Разом	72	30

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи: Робота з літературою за темами курсу, підготовка до лабораторних робіт, опрацювання підготовчих питань до робіт	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
1	Теоретичні основи кондуктометрії (T1)	16	24
2	Методика калібровки кондуктометричних комірок (T2)	13	16
3	Теорії концентраційної залежності молярної електричної провідності розчинів 1-1 електролітів (T3)	13	16
4	Математичні основи обробки експериментальних кондуктометричних даних (T4)	13	16
5	Інтерфейс програми LOPT для обробки експериментальних кондуктометричних даних (T5)	13	16
6	Теоретичні основи спектроскопії УФ- та видимої області (T6)	16	24
7	Техніка проведення спектроскопічного експерименту (T6)	13	16
8	Програмні комплекси розрахунку спектрів (T7)	13	16
9	Похідні (перша та друга) спектральних кривих як метод дослідження форми вібронної структури та сумішевих кривих спектрів електронного поглинання (T8)	13	16
10	Техніка підготовки зразків для спектрального дослідження (T9)	13	16
11	Загальні питання електрохімії та теорії розчинів (T11)	6	10
12	Електрометричні методи дослідження речовин та властивостей розчинів електролітів (T12)	10	14
13	Автопротоліз. Визначення іонного добутку розчинника в ланцюгах з переносом та без переносу. (T13)	13	16
14	Визначення констант дисоціації слабких кислот, основ та амфолітів в ланцюгах з переносом та без переносу. (T14)	13	16
15	Седиментаційне потенціометричне титрування з утворенням малорозчинної сполуки несиметричного типу (T15)	13	16
16	Застосування даних потенціометричного титрування слабких кислот для визначення констант дисоціації. (T16)	13	16
	Разом	204	264

6. Індивідуальні завдання

Не передбачено навчальним планом.

7. Методи контролю

Опитування, допуск до лабораторної роботи, співбесіда за результатами виконання, обробки та обговорення результатів лабораторних робіт. Семестровий залік (письмова робота).

8. Схема нарахування балів

Поточний контроль та самостійна робота		Сума
Розділ 1	Тема 1	-
	Тема 2	5
	Тема 3	5
	Тема 4	5
	Тема 5	5
	Разом:	20
Розділ 2	Тема 6	-
	Тема 7	5
	Тема 8	5
	Тема 9	5
	Тема 10	5
	Разом:	20
Розділ 3	Тема 11	-
	Тема 12	-
	Тема 13	5
	Тема 14	5
	Тема 15	5
	Тема 16	5
	Разом:	20
Семестровий залік (письмова робота)		40
Разом а курсом:		100

1. Студент допускається до підсумкового семестрового контролю (заліку) за умови виконання та оформлення всіх лабораторних робіт.
2. Залік вважається зданим, якщо рейтинг за залік не менше, ніж **10** балів.
3. За пропуск однієї лекції без поважної причини студент втрачає 2 бали від загального рейтингу за семестр.
4. Несвоєчасне виконання або оформлення лабораторної роботи оцінюється лише в 75% від набраної рейтингової оцінки. Термін подання оформлених лабораторних робіт визначається викладачем, який веде лабораторні заняття.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	Для чотирирівневої шкали оцінювання	Для дворівневої шкали оцінювання
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

Критерії оцінювання залікової роботи

96-100% від максимального балу за відповідь на питання – надана правильна та обгрунтована відповідь на питання залікового білету.

80-95% - надана правильна та обгрунтована відповідь на питання з незначними помилками при розрахунках, але при наявності вірної розрахункової формули.

50-79% - надана вірна відповідь без обґрунтування (або наявні помилки при розрахунках при наявності вірної розрахункової формули).

30-49% - надана неповна відповідь, або повна відповідь з помилками в розрахункових формулах.

5-29% - надана неповна відповідь з суттєвими помилками.

1-4% - невірна відповідь.

0% - відсутність відповіді.

9. Рекомендована література

Основна література

Кондуктометрія

1. Калугин О.Н. Математические методы неорганической химии. Методические указания по курсу. Харьков 2006, 67 с.
2. Дж. Плэмбек. Электрохимические методы анализа. Основы теории и применения. - М.: Мир, 1985. - 504 с.
3. Васильев В.П. Аналитическая химия. Т.2.Физико-химические методы анализа. - М.: Высшая школа, 1989. - 384 с.
4. Антропов Л.И. Теоретическая электрохимия. - М.: Высшая школа, 1975. - 568 с.
5. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А. Электрохимия. Учебное пособие. - Москва, Высшая школа, 1987. - 295 с.
6. Практикум по электрохимии. / Под ред. Б.Б. Дамаскина. - М.: Высшая школа, 1991. - 288 с.
7. Методы измерения в электрохимии. Т.1, т.2. / Под ред. Э. Егера, А. Залкина. - М.: Мир, 1977. - 476 с.: Глава 1. Измерение и интерпретация электропроводности растворов электролитов. Эванс Д.Ф., Матесич М.А. - с.10-69
8. Робинстон Р., Стокс Р. Растворы электролитов. - М.: ИА., 1963
9. Эрден-Груз Т. Явления переноса в водных растворах. - М.: Мир, 1976.-592 с.
10. Barthel J., Feuerlein F. Calibration of Conductance Cells at Various Temperatures // J. Solut. Chemistry. 2. - 1980. - Vol. 9, No. 3. - P. 209-219.

Молекулярна спектроскопія УФ та видимої області

1. Васильев В. П. Аналитическая химия. Часть 2. Физико-химические методы анализа М.: Высш. шк., 1989, 320 с.
2. Вязьмин С. Ю., Рябухин Д. С., Васильев А.В. Электронная спектроскопия соединений. учебное пособие для студентов химических и химико-технологических специальностей высших учебных заведений. СПб.: СПбглта, 2011, 43 с.
3. Бенуэлл К. Основы молекулярной спектроскопии.- М.: Мир, 1985. - 386с.
4. Свердлова О.В. Электронные спектры в органической химии. Л.: Химия, 1985. - 248с.
5. Юинг Г. Инструментальные методы химического анализа. М.: Мир, 1989. - 608с.
6. Инструментальные методы анализа функциональных групп органических соединений/ Под ред. С. Сигтия. - М.: Мир, 1974. -464с.
7. Берштейн И.Я., Каминский Ю.Л. Спектрофотометрический анализ в органической химии. Л.: Химия, 1986. - 200с.
8. Лебедев В.В. Техника оптической спектроскопии. М: Изд. МГУ, 1986. - 352с.
9. Пентин Ю. А. Основы молекулярной спектроскопии - М. : Мир, 2008. - 400 с.
10. Золотов Ю. А. Основы аналитической химии. В 2-х кн. / Ю. А. Золотов, Е. Н. Дорохова, В. И. Фадеева и др. ; под ред. акад. Ю. А. Золотова. - Кн. 2. Методы химического анализа. - М. : Высшая школа, 2002. - 495 с.

11. Шкумат А.П. Електронна спектроскопія в хімічних дослідженнях та в хімічному матеріалознавстві. Лабораторний практикум: навчальний посібник / А.П. Шкумат. – Х.: ХНУ імені В.Н.Каразіна, 2015, - 168 с., іл. 9.

Потенціометрія

1. Научное наследие Н.А. Измайлова и актуальные проблемы физической химии (под ред. В.И. Лебеда, Н.О. Мчедлова-Петросяна и Ю.В. Холина). –Х: ХНУ им. В.Н. Каразина, 2007. – 675 с.
2. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А. Электрохимия. –М.: Химия, КолосС, 2006. – 672 с.
3. Байрамов В.М. Основы электрохимии. - М. : АСАДЕМІА, 2005. -238 с
4. Демина Л.А.. Краснова Н.Б.. Юришева Б.С. Ионметрия в неорганическом анализе. – М.: Химия. 1991. – 192 с.
5. Измайлов Н.А. Электрохимия растворов. – Х.: Изд-во Харьк.ун-та, 1959. – 958 с.
6. Харнед Г., Оун. Б. Физическая химия растворов электролитов. –М.: ИЛ, 1952. – 628 с.
7. Робинсон Р., Стокс Р. Растворы электролитов. –М.: ИЛ. 1963. – 646 с.
8. Александров В.В. Кислотность неводных растворов. –Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1981. – 152 с.
9. Бейтс Р. Определение рН. Теория и практика. – Л.: Химия, 1968. – 400 с.
10. Рабинович В.А. Термодинамическая активность ионов в растворах электролитов. – Л.: Химия, 1985. – 176 с.
11. Агасян П.К., Николаева Е.Р. Основы электрохимических методов. Потенциометрический метод. –М.: Изд. МГУ. 1986. –196 с.
12. Шаталов А.Я. Введение в электрохимическую термодинамику. -М.: Высш. школа. 1984. – 215 с.
13. Корыта И., Штулик К. Ионселективные электроды. -М.: Мир. 1989. – 272 с.
14. Оксредметрия Под ред. Б.П. Никольского. В.В. Пальчевского. -Л.: Химия. 1975. – 304 с.
15. Скорчеллетти В.В. Теоретическая электрохимия. –Л.: Химия, 1974.
16. Практикум по физической химии / под ред. В.В.Буданова, Н.К.Воробьева / –М.: Химия, 1986. – 351 с.
17. Практикум по физической химии. Учебное Пособие для вузов / под ред. С.В.Горбачева. -М.: Высшая школа, 1974. – 496 с.
18. Математические вопросы исследования химических равновесий. (Под ред. Кумока В.Н.) -Томск, Из-во ТГУ, 1978, – 232 с.
19. Евсеев А.М., Николаева Л.С. Математическое моделирование химических равновесий. -М.: МГУ, 1988, – 96 с.
20. Спиридонов В.П., Лопаткин А.А. Математическая обработка физико-химических данных. -М.: МГУ. 1970. – 222 с.
21. Хартли Ф., Бергес К., Оллок Р. Равновесия в растворах. -М.: Мир, 1983. – 360 с.
22. Любиев О.Н., Численные методы в электрохимии. Уч. Пособие. 1982
23. Физическая химия. (Теоретическое и практическое руководство). // Под ред. Никольского Б.П., -Л.: Химия, 1987, – 880 с