

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

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Перший проректор

“ _____ ” _____ 20__ р.

Програма навчальної дисципліни

Основи хімічної технології
(назва навчальної дисципліни)

6.040101 – «Хімія»
(шифр, назва напрямку)

хімічний факультет
(назва підрозділу)

2015 / 2016 навчальний рік

Програму обговорено та рекомендовано до затвердження Вченою радою хімічного факультету
27 серпня 2015 року, протокол № 7

Зі змінами та доповненнями затверджено Вченою радою хімічного факультету
25 вересня 2015 року, протокол № 8

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ: Коробов Олександр Ісаакович, д.х.н., професор
кафедри хімічного матеріалознавства

Програму схвалено на засіданні кафедри хімічного матеріалознавства;

26 серпня 2015 року, протокол № 1

Зі змінами та доповненнями схвалено на засіданні кафедри хімічного матеріалознавства;

21 вересня 2015 року, протокол № 2

В.о. завідувача кафедри хімічного матеріалознавства

_____ /Холін Ю. В./
(підпис)

Програму погоджено методичною комісією хімічного факультету

24 вересня 2015 року, протокол № 2

Голова методичної комісії хімічного факультету

_____ Юрченко О.І.
(підпис)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Основи хімічної технології» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалаврів; напрямку підготовки: 6.040101 – «Хімія»

Предметом вивчення навчальної дисципліни є основні поняття та фундаментальні положення хімічної технології, які необхідні для професійного розуміння та задоволення потреб та викликів сучасного суспільства, для ефективного використання академічних хімічних знань у розробці та вдосконаленні складних наукомістких хіміко-технологічних процесів з урахуванням екологічних імперативів.

Програма навчальної дисципліни складається з таких розділів:

1. Лекції.
2. Лабораторні заняття.

1. Мета та завдання навчальної дисципліни

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни є сформувати у студентів елементи технологічного мислення з головним акцентом на високі технології, висвітлити багатогранні зв'язки фундаментальної хімії та хімічної технології, багаторівневий та багатокритеріальний характер завдань створення нових технологій, суттєву необхідність зниження екологічних ризиків. Навчальна дисципліна «Основи хімічної технології» є одним з курсів, які замикають базову підготовку бакалаврів хімічного факультету; в курсі активно використовуються і поглиблюються знання, які студенти отримали раніше. Курс має сприяти інтеграції освіти, фундаментальних досліджень та наукомістких технологій.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є:

- Мотивація студентів до вивчення курсу шляхом докладного обговорення місця і ролі хімічної технології в сучасному суспільстві та її взаємозв'язків з фундаментальною хімією на прикладі таких глобальних проблем, як енергозабезпечення. Формування уявлень про сучасні тенденції розвитку хімічної технології, зокрема нанотехнологій, біотехнологій, генної інженерії.
- Формування уявлень про особливості дослідження та аналізу складних реальних хімічних систем, які представляють чи можуть представляти технологічний інтерес. Засвоєння методів термодинамічного та кінетичного аналізу таких систем. Акцентування важливої ролі нелінійних режимів в розробці високих технологій та вивчення методів аналізу таких режимів.
- Формування уявлень про місце та роль процесів масо- та теплопереносу в ієрархічній структурі хіміко-технологічного процесу. Засвоєння підходів до аналізу цієї структури із використанням методів лінійної нерівноважної термодинаміки, гідродинаміки, кібернетики.
- Висвітлення величезної ролі каталізу в хімічній технології, обговорення спільних рис і особливостей різних видів каталізу, докладне вивчення гетерогенного каталізу, а також ферментативного каталізу в контексті біотехнології та генної інженерії.
- Засвоєння на лабораторному практикумі базових навиків, пов'язаних з виробництвом, аналізом продуктів, дослідженням каталітичних та нелінійних режимів.

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

– Професійно орієнтуватися у потребах та викликах сучасного суспільства, так чи інакше пов'язаних із фундаментальною хімією та хімічною технологією; усвідомлювати відповідні екологічні проблеми та враховувати екологічні імперативи.

– Мати чіткі всебічні уявлення про сучасні тенденції розвитку хімічних технологій, зокрема енергозабезпечення (класичні та альтернативні технології), нанотехнологій, біотехнологій, генної інженерії.

– Володіти методами термодинамічного аналізу складних хімічних систем, які мають технологічний інтерес, зокрема мотивовано вибирати необхідний рівень аналізу (діаграми відносної стійкості, застосування напівемпіричних співвідношень, аналіз систем рівнянь для констант рівноваг, тощо).

– Володіти методами кінетичного аналізу складних хімічних систем, які мають технологічний інтерес, в термінах теорії графів, відповідного матричного формалізму, систем диференціальних рівнянь, фазових та параметричних портретів. Головний акцент на розумінні ролі нелінійних режимів в розробці сучасних високих технологій, що потребує вміння визначати можливі типи нелінійної поведінки та необхідні умови виходячи з кінетичного механізму. На лабораторному практикумі відтворити коливання, біжучі та стоячі хвилі в модельній реакції Білоусова-Жаботинського.

– Інтегрувати знання про різні види каталізу та каталізаторів в цілісне уявлення про явище каталізу та його величезну роль в хімічній технології. Бачити спільні риси різних типів каталізу. Розуміти технологічні переваги гетерогенного каталізу, перспективи використання нелінійних каталітичних режимів, що обумовлює необхідність докладного дослідження і аналізу механізмів модельних гетерогенно-каталітичних реакцій на ретельно підготовлених поверхнях, а також їх зв'язок з реальними каталітичними процесами. Розуміти особливості ферментативного каталізу і його значні перспективи в контексті розвитку біотехнології та генної інженерії. Знати основні схеми та основні положення теорій ферментативного каталізу. На лабораторному практикумі порівняти різні види каталізу.

– Засвоїти основні методи вивчення процесів масопереносу та тепло переносу, їх взаємозв'язку та місця в ієрархічній структурі хіміко-технологічного процесу, зокрема основні релевантні положення і співвідношення лінійної нерівноважної термодинаміки, гідродинаміки, кібернетики.

– Вільно аналізувати інформацію щодо фізико-хімічних основ, базових технологічних схем та апаратного оформлення класичних, наукомістких та розроблюваних виробництв, зокрема: переробка нафти, виробництво вуглецевих волокон, виробництво коксу, виробництво метанолу, виробництво аміаку, виробництво CD, DVD та Blu-ray дисків, реакційно-дифузійний комп'ютер, виробництво оцтової кислоти (процес Монсанто), виробництво ацетальдегіду (Вакер-процес), виробництво інсуліну, виробництво ізобутилену. На лабораторному практикумі засвоїти методи отримання їдкого натру електрохімічним методом та шляхом каустифікації соди вапном. На лабораторному практикумі засвоїти методи аналізу в хімічній технології, зокрема стилоскопічний аналіз сплавів, визначення оксиду заліза в магнезитах, аналіз мастильних матеріалів.

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показника	Галузь знань (предметна область), напрям, спеціальність, рівень вищої освіти / освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів – 5	Галузь знань (предметна область): <u>0401 «Природничі науки»</u> Напрямок: <u>6.040101 «Хімія»</u>	Нормативна	
Індивідуальне науково-дослідне завдання (назва)	Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): <u>бакалавр</u>	Рік підготовки	
Загальна кількість годин 150		4-й	4-й
Тижневих годин для денної форми навчання: 7 семестр: аудиторних – 2 самостійної роботи студента – 2 8 семестр: аудиторних – 4 самостійної роботи студента – 2		Семестр	
		7,8-й	7-й
		Лекції	
		28 год.	12 год.
		Практичні, семінарські	
		-	-
		Лабораторні	
		64 год.	12 год.
	Самостійна робота		
	58 год.	126 год.	
	Індивідуальні завдання:		
	Вид контролю:		
	контрольна робота, залік, екзамен.	контрольна робота, залік, екзамен	

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить (%):

для денної форми навчання – 159%

для заочної форми навчання – 19%

2. Програма навчальної дисципліни

Тема 1. Взаємозв'язок хімії та хімічної технології. Роль фундаментальних хімічних знань та хімічної технології у суспільстві. Екологічний імператив в хімічній технології.

Хімічна технологія як наука, зв'язок з іншими хімічними дисциплінами, особливості викладання хімічної технології у класичних університетах. Галузі промисловості, зацікавлені в хімічній технології; сучасні тенденції розвитку хімічної технології. Концепція сталого розвитку суспільства. Проблеми енергозабезпечення, енергозбереження, ексергія. Можливості енергозбереження при окисленні органічного палива. Варіанти зрідження газоподібного палива, критерії вибору. Проблема порушення природного кругообігу вуглецю. Альтернативні джерела енергії і варіанти розвитку енергетики. Використання біомаси, виробництво біоетанолу, біодизелю, біонафти, технологічні аспекти. Сучасні матеріали для виготовлення сонячних батарей. Хімічні аспекти створення водневої енергетики. Барвники і полімерні матеріали, використовувані у виробництві оптичних носіїв інформації.

Тема 2. Термодинаміка складних процесів; діаграми відносної стійкості; переробка нафти, виробництво коксу, виробництво вуглецевих волокон.

Просте і складне в термодинаміці. Спогади про «просту» термодинаміку: перший і другий закони, рівняння Гіббса-Гельмгольца і Вант-Гоффа на прикладі реакції утворення води. Приклад складної системи: крекінг нафти. Нафта, склад, три варіанти переробки нафти; основні продукти переробки нафти; способи переробки нафти: крекінг, піроліз, риформінг; апаратне оформлення крекінгу - трубчаста піч безполум'яного горіння; ректифікація, основні принципи, апаратне оформлення. Діаграми відносної стійкості; приклад: виділення металів з оксидів; складніший приклад: термічний крекінг нафти. Розрахунки з використанням напівемпіричних співвідношень для потенціалу Гіббса; приклад: термічний крекінг нафти. Основні закономірності термічного крекінгу нафти. Виробництво вуглецевих волокон як альтернатива глибокої переробки нафти. Виробництво коксу; основні продукти коксування; апаратне оформлення: коксові печі непрямого нагріву; можливі варіанти переробки коксового газу. Безперервні і періодичні процеси. Самоузгоджене рішення систем рівнянь для констант рівноваги; приклад: конверсія метану водяною парою. Оптимальна схема конверсії при синтезі метанолу.

Тема 3. Кінетика та механізми складних хімічних та хіміко-технологічних процесів. Нелінійні хімічні та хіміко-технологічні системи та їх аналіз.

Елементи «простої» кінетики: прості і складні реакції; поняття швидкості хімічної реакції, закон діючих мас і рівняння Арреніуса - умови застосовності, ефективна енергія активації. Механізми складних реакцій. Приклад: утворення води з простих речовин. Представлення механізму у вигляді графа, вершини і ребра графа, ступінь вершини, лінійні і нелінійні стадії, стехіометричне число стадії, пробіг реакції, цикл, лінійно незалежні цикли, цикломатичне число, маршрут реакції, базис маршрутів. Приклади механізмів складних реакцій: синтез аміаку; ізотопний обмін водню і дейтерію. Матричний формалізм. Атомна матриця, матриця механізму, ранг матриці механізму, система нелінійних автономних диференціальних рівнянь першого порядку. Приклад: синтез аміаку. Особлива роль нелінійних стадій в механізмах хімічних реакцій. Коливальні хімічні реакції. Реакція Брея. Реакція Белоусова-Жаботинського; уявлення про механізм реакції, автокаталіз, негативний зворотний зв'язок, орегонатор. Основні типи нелінійної поведінки хімічних систем: бістабільність, коливання, біжучі хвилі, стоячі хвилі, динамічний хаос. Основні особливості поведінки систем далеко від рівноваги. Процеси полімеризації і полімерні матеріали в середовищі Белоусова-Жаботинського;

управління процесами полімеризації і властивостями полімерних матеріалів. Реакційно-дифузійний комп'ютер як приклад технологій що народжуються (emerging technologies). Використання нелінійної динаміки хімічних реагуючих систем для розв'язання задач великої обчислювальної складності. Можливі області застосування реакційно-дифузійних комп'ютерів. Якісний аналіз автономних систем звичайних диференціальних рівнянь. Фазові (динамічні) змінні, фазовий простір. Фазовий портрет. Стаціонарні стани (стійкий вузол, нестійкий вузол, сідло), граничні цикли, сепаратриси. Структурна сталість фазового портрету. Параметричний портрет. Біфуркація. Співвідношення параметричного і фазового портретів. Приклад: окиснення СО на платині.

Тема 4. Гетерогенний катализ. Уявлення про поверхні розділу фаз в гетерогенному каталізі. Окиснення СО на платині. Виробництво аміаку.

Значення каталізу в хімічній промисловості. Позитивний і негативний катализ, автокатализ, катализатори та інгібітори, промотори, каталітичні отрути. Види каталізу: гомогенний, гетерогенний, гетерогенно-гомогенний, мікрогетерогенний, міжфазний, міцелярний, ферментативний. Гетерогенний катализ. Уявлення про поверхні розділу фаз в гетерогенному каталізі. Методи підготовки поверхні як об'єкта дослідження. Загальна схема спектроскопії поверхні. Дифракція повільних електронів. Аналіз хімічного складу поверхні, Оже-спектроскопія. Поверхневі електронні стани, спектроскопія поверхневих електронних станів. Рівень Фермі. Реконструкція та релаксація поверхні. Адсорбція. Фізична адсорбція, хемосорбція, диссоціативна хемосорбція. Адсорбція одиначної молекули. Особливості взаємодії двох адсорбованих молекул. Адсорбція ансамблю молекул, адсорбційні шари, регулярні та острівкові структури. Електронна спектроскопія поверхневих комплексів. Зміни поверхні в результаті адсорбції. Реальний гетерогенний катализ. Зміни катализатора в ході гетерогенно-каталітичних процесів: висока рухливість атомів решітки, зміна ступеня окиснення атомів, фазові переходи. Закон діючих поверхонь, основні відмінності від закону діючих мас, відхилення від моделі ідеального поверхневого шару. Виробництво аміаку. Проблема зв'язаного азоту. Методи зв'язування атмосферного азоту (дугового, ціанамідний, аміачний, ферментативний). Аміачний метод. Сировина, очищення азотно-водневої суміші, фізико-хімічні основи синтезу аміаку, катализатор, технологічна схема.

Тема 5. Ферментативний катализ. Біотехнологія. Генна інженерія.

Ферментативний катализ. Основні поняття: фермент, ко-фермент, активний центр, активатор, інгібітор, алостеричні ефекти. Відмінні особливості ферментативного каталізу, типові залежності швидкості ферментативної реакції від рН і температури. Схема простої ферментативної реакції, рівняння Міхеліса-Ментень. Складні реакції: упорядкований механізм, невпорядкований механізм, «пінг-понг» механізм. Основні положення теорії ферментативного каталізу. Біотехнологія, основні біотехнологічні процеси, переваги біотехнологічних процесів. Іммобілізація ферментів. Генна інженерія, клітинна інженерія. Структурний ген, вектор, рекомбінантна ДНК, клон. Виробництво інсуліну.

Тема 6. Загальні закономірності та поняття каталізу.

Загальні закономірності і поняття каталізу. Каталітичний процес як сукупність звичайних хімічних реакцій, що має циклічний характер. Вакер-процес отримання ацетальдегіду. Основні види катализаторів: кислоти і основи, комплекси металів, метали, тверді сполуки металів, ферменти. Катализатори подвійної дії. Отримання бензину з метанолу. Основні механізми каталізу: окислювально-відновний, кислотно-основний, металокомплексний. Процес Монсанто отримання оцтової кислоти. Катализ та охорона навколишнього середовища. Технологічні характеристики промислових катализаторів: активність, температура запалювання, селективність, пористість, механічна міцність,

стійкість до ядів, терmostійкість, гідродинамічні характеристики, вартість. Контактні апарати, основні стадії каталітичних процесів в контактних апаратах.

Тема 7. Макрокінетика, масоперенос, теплоперенос. Фазові переходи. Виробництво чаюна та сталі.

Основні завдання макрокінетики. Масоперенос: механізми масопереносу, масообмінні процеси, дифузія, щільність дифузійного потоку, закони Фіка; термодифузія, бародифузія, електродифузія, самодифузія, конвективна дифузія. Кінетика дифузійно-контрольованих реакцій, високотемпературний синтез, фільтраційне горіння. Теплоперенос: механізми поширення теплоти, теплопровідність, щільність теплового потоку, закон Фур'є. Основні типи теплообмінних апаратів. Елементи лінійної нерівноважної термодинаміки. Локальна термодинамічна рівновага, характерні просторові масштаби і часи, кінетичний режим процесу, дифузійний режим процесу, лімітуюча стадія. Потоки речовини і тепла в макроскопічній хімічно реагуючій системі, аналогія законів Фур'є і Фіка, потоки і термодинамічні сили, співвідношення Онзагера, хімічна спорідненість і швидкість хімічної реакції, швидкість приросту ентропії в необоротних процесах.

Тема 8. Гідродинаміка в хімічній технології. Кібернетика в хімічній технології. Хіміко-технологічний процес як ієрархічна система.

Елементи гідродинаміки: рівняння Нав'є-Стокса і рівняння неперервності, типові завдання гідродинаміки в хімічній технології, типові структури потоків, закон подібності, безрозмірні комплекси, приклад: числа Рейнольдса, Фруда і Пекле, алгоритм побудови критеріїв подібності, можливості теорії подібності для опису хіміко-технологічних процесів. Ієрархічна структура хіміко-технологічного процесу. Концепція турбулентного трубчастого реактора для проведення процесів полімеризації; приклад: полімеризація ізобутилену. Кібернетика в хімічній технології. Технологічна схема виробництва, хіміко-технологічний процес і його основні складові; зворотний зв'язок, чорний ящик, вхідні сигнали і криві відгуку, кібернетична система: входи, виходи, збурюючі і керуючі параметри, принципи моделювання в хімічній технології, автоматичні і автоматизовані системи управління.

Тема 9. Загальні уявлення про матеріали. Наноматеріали, нанотехнології.

Роль нанотехнологій в сучасному суспільстві. Чому саме наномасштаб визначає існування унікального світу? Нуль-, одно-, дво- і тривимірні наноструктури. Загальні положення: взаємодія наночастинок з середовищем, їх форма, фазовий стан та електронна будова, агломерація наночастинок і їх ізоляція в матрицях. Наноелектроніка: мініатюризація електронних пристроїв, щільність запису інформації, приклади використання нанотрубок (діод, тріод, дисплей), одномолекулярні електронні пристрої. Наномашини. Наноманіпулятори: скануючий тунельний мікроскоп, атомний силовий мікроскоп, можливість маніпулювання окремими атомами, створення активних логічних структур з малих молекул, здійснення хімічної реакції на підкладці з використанням СТМ. Дві парадигми отримання наноструктур: «зверху вниз» і «знизу вверх». Наноматеріали: наносенсори, асиметричні мембрани, нанокompозити, квантові точки. Наномедицина: використання наноматеріалів в діагностиці, цілеспрямована доставка ліків. Нанопристрої: виробництво водню з використанням сонячної енергії, паливний елемент, основна схема водневої енергетики. Нанореактори: принцип дії і приклади. Нанокаталіз: каталіз ізольованими частинками, каталіз ансамблями частинок, каталіз на гранях монокристалів, каталіз на фасетованих гранях монокристалів.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	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
<i>Тема 1.</i> Взаємозв'язок хімії та хімічної технології; роль у суспільстві.	16	2		7		5	19	2	1			14
<i>Тема 2.</i> Термодинаміка складних процесів.	15	4		7		4	17	1	1			14
<i>Тема 3.</i> Кінетика та механізми складних процесів.	22	6		7		7	20	2	2			14
<i>Тема 4.</i> Гетерогенний каталіз.	18	4		7		6	17	1	1			14
<i>Тема 5.</i> Ферментативний каталіз. Біотехнологія. Генна інженерія.	18	2		7		7	19	2	2			14
<i>Тема 6.</i> Загальні закономірності та поняття каталізу.	22	2		7		10	18	1	2			14
<i>Тема 7.</i> Макрокінетика; фазові переходи.	18	4		7		6	17	1	1			14
<i>Тема 8.</i> Гідродинаміка та кібернетика в хімічній технології.	15	2		7		6	17	1	1			14
<i>Тема 9.</i> Наноматеріали, нанотехнології.	18	2		8		7	18	1	1			14
Усього годин	150	28		64		58	150	12	12			126

4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Ввідне заняття; вирішення задач	4
2	Отримання NaOH та Cl ₂ електрохімічним методом	8
3	Отримання NaOH: каустифікація соди вапном	8
4	Визначення оксиду заліза в магнетитах	4
5	Стилоскопічний аналіз сталей та сплавів	4

6	Аналіз мастильних матеріалів	4
7	Аналіз води у хімічній промисловості	4
8	Поляриметричне вивчення закономірностей інверсії сахарози та реверсії інвертози	4
9	Основні типи нелінійної поведінки каталітичних систем на прикладі реакції Білоусова-Жаботинського	4
10	Співставлення різних типів каталізу	12
11	Підсумкове заняття, обговорення результатів, залік	8

5. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	Форма контролю
1	Взаємозв'язок хімії та хімічної технології; роль у суспільстві.	5	опитування
2	Термодинаміка складних процесів.	5	опитування
3	Кінетика та механізми складних процесів.	5	опитування
4	Гетерогенний каталіз.	5	опитування
5	Ферментативний каталіз. Біотехнологія. Генна інженерія.	5	опитування
6	Загальні закономірності та поняття каталізу.	5	опитування
7	Макрокінетика; фазові переходи.	5	опитування
8	Гідродинаміка та кібернетика в хімічній технології.	5	опитування
9	Наноматеріали, нанотехнології.	5	опитування
10	Аналіз та підсумок результатів лабораторних робіт.	25	опитування
	Разом	70	

6. Індивідуальні завдання

7. Методи навчання

Лекції, лабораторні роботи, консультації, самостійна робота.

8. Методи контролю

Опитування, контрольна робота, залік, екзамен.

9. Розподіл балів, які отримують студенти

Поточне тестування та самостійна робота		Разом	Екзамен	Сума
Контрольна робота	Лабораторний практикум	60	40	100
Теми 1 – 9	Лабораторні роботи 2 – 10			
30	30			

Для одержання заліку студент має виконати всі лабораторні роботи. Для допуску до підсумкового семестрового контролю студент повинен одержати залік та написати контрольну роботу. Якщо студент отримав не менше ніж 90% за лабораторні заняття та не менше ніж 90% за контрольну роботу, він може за результатами співбесіди з лектором і за

рішенням кафедри одержати 40 преміальних балів і бути звільненим від складання екзамену з виставленням відмінної оцінки.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка за національною шкалою	
	для екзамену	для заліку
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

10. Рекомендоване методичне забезпечення Базова література

1. Коробов А. И. Теоретические основы химической технологии. – Х. : ХНУ имени В. Н. Каразина, 2014. – 256 с.
2. Трасенко Л. Н., Коробов А. И. Химическая экотехнология. Лабораторный практикум по курсу «Экотехнология». – Х.: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2010.
3. Concepts of chemical engineering 4 chemists / ed. by Stefan J. R. Simons. – Cambridge : Royal Society of Chemistry, 2007. – 184 p.
4. Іванов С. Загальна хімічна технологія. Промислові хіміко-технологічні процеси / С. Іванов, Н. Манчук, П. Борсук.– К. : Вид-во нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2010.– 280 с.
5. Яворський В. Т. Загальна хімічна технологія / Яворський В. Т., Перекупко Т. В., Знак З. О., Савчук Л. В.. – Львів : Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2009. – 552 с.
6. Александров В. Общая химическая технология / В. Александров, Б. Кондауров, А. Артемов. – М. : Academia, 2005. – 336 с.
7. Крылов О. В. Гетерогенный катализ / О. В. Крылов. – М. : Академкнига, 2004. – 679 с.
8. Пригожин И. От существующего к возникающему. – Пер. с англ. – М.: URSS, 2015. – 296 с.
9. Франк-Каменецкий Д.А. Основы макрокинетики. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. – М. : URSS, 2008. – 408 с.

Допоміжна література

10. Нанотехнологии : азбука для всех / под ред Ю. Д. Третьякова. – М. : Физматлит, 2009.– 368 с.
11. Рыжонков Д.И. Лёвина В.В., Дзидзигури Э. Наноматериалы. – М.: URSS, 2014. – 365 с.

12. Шмид Р. Наглядная биотехнология и генетическая инженерия. – М. : URSS, 2014. – 325 с.
13. Солтис М. Теоретичні основи процесів хімічної технології / М. Солтис, В. Закордонський. – Львів : Вид-во Львів. нац. ун-ту, 2003. – 430 с.
14. Дубинін А. І. Обладнання хімічних і силікатних виробництв / А. І. Дубинін, Я. М. Ханик, В. М. Атаманюк. – Львів : Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка", 2005. – 140 с.
15. Семенишин Є. М. Енерготехнологія хіміко-технологічних процесів / Є. М. Семенишин, М. С. Мальований. – Львів : Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2005. – 420 с.

Інформаційні ресурси

1. Файл-сервер хімічного факультету ХНУ імені В.Н. Каразіна: <http://www-chemistry.univer.kharkov.ua/uk/node/424>
2. Биотехнология [Электронный ресурс]. – <http://www.biotechnolog.ru/>.
3. MIT Technology Review. – <http://technologyreview.com/>.