

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан факультету

Тетяна ІВАНІШЕНА

ім'я, прізвище

Підпис

серпня

2024 р.

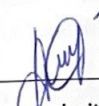
РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Галузь знань 16 – Хімічна інженерія та біоінженерія
 Спеціальність 161 – Хімічні технології та інженерія
 Рівень вищої освіти Перший бакалаврський
 Освітньо-професійна програма Хімічні технології та інженерія
 Обсяг дисципліни 5 кредитів ЄКТС
 Шифр дисципліни ОПП.12
 Статус дисципліни Обов'язкова (цикл професійної підготовки)
 Факультет Технологій і дизайну
 Кафедра Хімії та хімічної інженерії

Форма здобуття освіти	Курс	Семестр	Обсяг дисципліни		Кількість годин								Форма семестрового контролю	
					Аудиторні заняття				Індивідуальна робота студента	Самостійна робота, у т.ч. ІРС	Курсовий проєкт	Курсова робота	Залік	Іспит
			Кредити ЄКТС	Години	Разом	Лекції	Лабораторні роботи	Практичні заняття						
Д	4	8	5	180	68	34	34	-	-	112	-	-	-	+
З	4	8	5	180	14	6	8	-	-	166	-	-	-	+

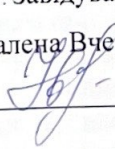
Робоча програма складена на основі освітньо-професійної програми бакалавра Хімічні технології та інженерія за спеціальністю 161 Хімічні технології та інженерія

Робоча програма складена  доктор філософії Анна МАГДІЙЧУК

Схвалена на засіданні кафедри хімії та хімічної інженерії

Протокол від 29 серпня 2024 р. № 1. Завідувач кафедри  Ольга ПАРАСКА

Робоча програма розглянута та схвалена Вченою радою факультету Технологій і дизайну

Голова Вченої ради факультету  Тетяна ІВАНІШЕНА

Хмельницький 2024

Пояснювальна записка

Дисципліна «Математичне моделювання хіміко-технологічних процесів» є однією з основних дисциплін професійної підготовки студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія».

На основі загальних понять з фізики, математики, інформаційних технологій, хімії, процесів та апаратів хімічних виробництв, дисципліна розглядає основні поняття математичного моделювання хіміко-технологічних процесів, процеси хімічної технології, математичне моделювання, етапи розробки математичної моделі, класифікацію моделей, деякі особливості моделей і задач математичного моделювання, упорядкування математичних моделей експериментально-статистичними методами, описову статистику, перевірку статистичних гіпотез, параметричні тести, застосування методу найменших квадратів в побудові математичних моделей, застосування регресійного аналізу в побудові математичних моделей, основи факторного аналізу, метод крутого сходження, узагальнений параметр оптимізації, формулювання задачі оптимізації.

Пререквізити: вища та прикладна математика; загальна хімічна технологія; основи технічної творчості та наукових досліджень;

Кореквізити: основи проектування хімічних виробництв; екологічний аудит та менеджмент хімічних технологій; атестаційний іспит.

Відповідно до **Стандарту вищої освіти** із зазначеної спеціальності та освітньої програми дисципліна сприяє забезпеченню:

компетентностей: здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу; здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях; здатність використовувати положення і методи фундаментальних наук для вирішення професійних задач; здатність використовувати обчислювальну техніку та інформаційні технології для вирішення складних задач і практичних проблем в галузі хімічної інженерії;

програмних результатів навчання: знати математику, фізику і хімію на рівні, необхідному для досягнення результатів освітньої програми; розробляти і реалізовувати проекти, що стосуються технологій та обладнання хімічних виробництв, беручи до уваги цілі, ресурси, наявні обмеження, соціальні та економічні аспекти та ризики; розуміти основні властивості конструкційних матеріалів, принципи та обмеження їх застосовування в хімічній інженерії.

Мета дисципліни Навчити студентів будувати математичні моделі об'єктів хімічної технології та впроваджувати методи оптимізації хіміко-технологічних процесів.

Предмет дисципліни. Застосування математичного моделювання з метою оптимізації технологічних процесів об'єктів хімічної технології.

Завдання дисципліни. Надати студентам знання і практичні навички з планування експерименту, використання методів спостереження, опису, класифікації об'єктів хімічних технологій, побудови процесу пошуку оптимальних рішень, застосування інформаційних технологій у вирішенні складних завдань, побудови рівняння процесу та виключення аномальних рішень.

Результати навчання. Студент, який успішно завершив вивчення дисципліни, повинен: *знати* математику, фізику і хімію на рівні, необхідному для досягнення результатів освітньої програми; *розробляти і реалізовувати* проекти, що стосуються технологій та обладнання хімічних виробництв, беручи до уваги цілі, ресурси, наявні обмеження, соціальні та економічні аспекти та ризики; *застосовувати* знання про основні хімічні процеси та властивості матеріалів в сфері хімічної інженерії; *обговорювати* результати професійної діяльності з фахівцями та нефахівцями, *аргументувати* власну позицію.

2) Структура залікових кредитів дисципліни

Назва розділу (теми)	Кількість годин, відведених на:					
	Денна форма			Заочна форма		
	Лекції	Лаб. заняття	СРС	Лекції	Лаб. заняття	СРС
Розділ 1. Основні поняття математичного моделювання.	8	8	32	6	4	50
Розділ 2. Упорядкування математичних моделей експериментально-статистичними методами	8	8	26		-	46
Розділ 3. Методи оптимізації хіміко-технологічних процесів.	18	18	56		4	70
РАЗОМ:	34	34	112	6	8	166

3) Програма навчальної дисципліни

3.1 Зміст лекційного курсу для студентів денної форми здобуття освіти

Номер лекції	Перелік тем лекції, їх анотації	Кількість годин
1-2	Основні поняття математичного моделювання хіміко-технологічних процесів. Літ.: [1] с. 11- 32, [3] с. 9-13	2
	Класифікація моделей. Літ.: [1] с. 11- 32, [3], с. 9-13	2
3-4	Загальні питання математичного опису процесів. Літ.: [1], с. 20- 32.	2
	Деякі особливості моделей і задач математичного моделювання. Літ.: [1], с. 20- 42	2
5-6	Упорядкування математичних моделей експериментально-статистичними методами. Описова статистика. Літ.: [4], с. 6- 42	2
	Види статистичних розподілів. Літ.: [5], с. 116-123, с. 203-205, 213- 215	2
7-8	Перевірка статистичних гіпотез. Основні поняття. Параметричні тести. Літ.: [6], с. 165-172; [7], с. 77-99	2
	Перевірка статистичних гіпотез. Непараметричні тести. Визначення моделей розподілу емпіричних даних. Літ.: [6],с. 165-172; [7], с. 99-114	2
9-10	Застосування методу найменших квадратів в побудові математичних моделей Літ.: [7], с. 160-169; [8], с.88-115	2
	Застосування регресійного аналізу в побудові математичних моделей. Літ.: [6], с. 68-71; [8], с.104-115	2
11-12	Застосування регресійного аналізу в побудові математичних моделей. Оцінка значущості рівняння лінійної регресії Літ.: [6], с. 56-64; [8], с.82-103	2
	Основи кореляційного аналізу Літ.: [6], с. 56-64; [8], с.82-103; [9], с. 29-39	2
13-14	Основи факторного аналізу. Літ.: [6], с. 56-64; [8], с.82-103; [9], с. 29-39	2
	Метод Гаусса-Зейделя. Градієнтний метод. Літ.: [7], с. 179-185	2
15-16	Метод крутого сходження. Літ.: [7], с. 185-199	2
	Сімплекс-решетчаті плани. Літ.: [10], с. 138- 141	2

17	Узагальнений параметр оптимізації. Формулювання задачі оптимізації Літ.: [1], с. 261-270; [11], с. 10-116	2
Разом:		34

Перелік оглядових лекцій для заочної форми здобуття освіти

Номер лекції	Перелік тем лекції, їх анотації	Кількість годин
1	Основні поняття математичного моделювання хіміко-технологічних процесів. Літ.: [1] с. 11- 32, [3] с. 9-13	2
2	Загальні питання математичного опису процесів. Літ.: [1], с. 20- 32.	2
3	Упорядкування математичних моделей експериментально-статистичними методами. Описова статистика. Літ.: [4], с. 6- 42	2
Разом:		6

3.2. Зміст лабораторних занять

Перелік лабораторних занять для студентів денної форми здобуття освіти

№	Теми лабораторних занять	Кількість годин
1	Розгляд різновидів моделей та їх класифікація. Літ.: [1] с. 11-32, [3] с. 9-13	4
2	Математичний опис для будь-якого з виходів системи, емпіричні моделі. Літ.: [1]с. 20-32, : [1]с. 32-42	4
3	Упорядкування математичних моделей експериментально-статистичними методами Літ.: [4]с. 6-42	4
4	Перевірка статистичних гіпотез Літ.: [6]с. 165-172, [7] с. 77-114	4
5	Застосування методу найменших квадратів і регресійного аналізу в побудові математичних моделей Літ.: [7]с. 160-169, [8] с.88-115	4
6	Основи факторного аналізу. Літ.: [9]с. 29-39	4
7	Метод крутого сходження. Літ.: [7]с. 185-199	4
8	Узагальнений параметр оптимізації. Формулювання задачі оптимізації. Літ.: [11]с. 10-116, [1]с. 261-270	6
Разом:		34

Перелік лабораторних занять для студентів заочної форми здобуття освіти

№	Теми лабораторних занять	Кількість годин
1	Розгляд різновидів моделей та їх класифікація. Літ.: [1] с. 11-32, [3] с. 9-13	4
2	Узагальнений параметр оптимізації. Формулювання задачі оптимізації. Літ.: [11]с. 10-116, [1]с. 261-270	4
Разом:		8

3.4 Зміст самостійної (у т.ч. індивідуальної) роботи

Самостійна робота студентів денної форми навчання полягає у систематичному опрацюванні програмного матеріалу, підготовці до виконання і захисту лабораторних робіт, тестування з теоретичного матеріалу, підготовці до поточного і підсумкового контролів.

Зміст самостійної роботи студентів денної форми здобуття освіти

Номер тижня	Вид самостійної роботи	Кількість годин
1	Опрацювання лекційного матеріалу (лек. 1), підготовка до виконання ЛР 1	6
2	Опрацювання лекційного матеріалу (лек. 1,2), підготовка до захисту ЛР 1	6
3	Опрацювання лекційного матеріалу (лек. 3), підготовка до виконання ЛР 2	6
4	Опрацювання лекційного матеріалу (лек. 3,4) Підготовка до захисту ЛР 2, підготовка до виконання ЛР 3	6
5	Опрацювання лекційного матеріалу (лек. 5), підготовка до виконання ЛР 3	6
6	Опрацювання лекційного матеріалу (лек. 5,6). Підготовка до захисту ЛР 3, підготовка до виконання ЛР 4	6
7	Опрацювання лекційного матеріалу (лек. 7), підготовка до виконання ЛР4. Підготовка до тестування 1 з тем 1-7	8
8	Опрацювання лекційного матеріалу (лек. 7,8.) Підготовка до захисту ЛР 4. Підготовка до тестування 1 з тем 1-7. Підготовка до виконання ЛР5.	8
9	Опрацювання лекційного матеріалу (лек. 9), Підготовка до виконання ЛР 5. Тестування 1.	6
10	Опрацювання лекційного матеріалу (лек. 9, 10), виконання ЛР 5.	6
11	Опрацювання лекційного матеріалу (лек.11). Підготовка до захисту ЛР 5. Підготовка до виконання ЛР 6	6
12	Опрацювання лекційного матеріалу (лек.12). Підготовка до виконання ЛР 6	6
13	Опрацювання лекційного матеріалу (лек.12,13) Підготовка до захисту ЛР 6. Підготовка до виконання ЛР 7.	6
14	Опрацювання лекційного матеріалу (лек. 14), підготовка до виконання ЛР 7. Підготовка до тестування 2 з тем 8- 17.	8
15	Опрацювання лекційного матеріалу (лек.14,15). Підготовка до захисту ЛР 7. Підготовка до виконання ЛР 8. Підготовка до тестування 2 з тем 8- 17.	8
16	Опрацювання лекційного матеріалу (лек. 16), підготовка до виконання ЛР 8. Підготовка до тестування 2 з тем 8- 17.	8
17	Опрацювання лекційного матеріалу (лек.17). Підготовка до захисту ЛР 8. Тестування 2.	6
Разом:		112

4) Технології та методи навчання

Процес навчання з дисципліни ґрунтується на використанні класичних та сучасних технологій, зокрема:

лекції (з використанням методів проблемного навчання і візуалізації); лабораторні заняття (з використанням методів комп'ютерного моделювання, тренінгів, практикумів), самостійна робота (індивідуальні завдання).

Здобувачі вищої освіти при вивченні дисципліни можуть користуватись як наявним в аудиторіях кафедри комп'ютерним обладнанням, так і власними пристроями (ноутбуками, планшетами, смартфонами). Власними пристроями можна користуватися як для роботи в системі Модульного середовища, так і для доступу до зовнішніх інформаційних ресурсів, які необхідні для виконання лабораторних робіт.

5) Методи контролю

Поточний контроль здійснюється як під час аудиторних занять, так і під час проведення контрольних заходів. Зокрема, при оцінюванні знань студентів використовуються такі методи контролю:

письмове опитування (тестування);

захист лабораторних робіт.

При виведенні підсумкової семестрової оцінки враховуються результати як поточного контролю, так і підсумкового контрольного заходу. Студент, який набрав позитивний середньозважений бал за поточну роботу і не здав підсумковий контрольний захід (іспит), вважається невстигаючим.

6) Оцінювання результатів навчання студентів у семестрі

Оцінювання академічних досягнень здобувача вищої освіти здійснюється відповідно до «Положення про контроль і оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти у ХНУ». Кожний вид роботи з дисципліни оцінюється за інституційною чотирибальною шкалою і виставляється в електронному журналі обліку успішності. Семестрова підсумкова оцінка визначається як середньозважена з усіх видів навчальної роботи, виконаних і зданих студентом позитивно, з урахуванням коефіцієнта вагомості і розраховується в автоматизованому режимі за відповідною програмою. Вагові коефіцієнти змінюються залежно від структури дисципліни і важливості окремих видів її робіт.

Оцінка, яка виставляється за лабораторне заняття, складається з таких елементів: усне опитування студентів перед допуском до виконання лабораторної роботи; знання теоретичного матеріалу з теми; якість оформлення протоколу; вміння студента обґрунтувати прийняті технологічні рішення; своєчасний захист лабораторної роботи.

Термін захисту лабораторної роботи вважається своєчасним, якщо студент захистив її на наступному після виконання роботи занятті. За несвоєчасний захист лабораторної роботи з неповажної причини студент за позитивну відповідь отримує оцінку «задовільно». Пропущене лабораторне заняття студент повинен відпрацювати в лабораторіях кафедри у встановлений викладачем термін з реєстрацією у відповідному журналі кафедри, але не пізніше, ніж за два тижні до кінця теоретичних занять у семестрі.

Лабораторні роботи виконуються індивідуально або групами, згідно з варіантами, що представлені у методичних вказівках до лабораторних робіт. Під час роботи над індивідуальними завданнями недопустимі порушення правил академічної доброчесності. У разі наявності плагіату (спроба представити до захисту лабораторну роботу іншого варіанту) здобувач вищої освіти отримує незадовільну оцінку і має повторно виконати лабораторну роботу згідно із його варіантом.

Порядок зарахування результатів навчання, здобутих у неформальній (інформальній) освіті здійснюється згідно Положення про порядок визнання та зарахування результатів навчання здобувачів вищої освіти у Хмельницькому національному університеті (<https://khmnu.edu.ua/polozhennya/>).

Оцінювання знань студентів здійснюють за такими критеріями:

Оцінка за національною шкалою	Узагальнений критерій
Відмінно	Студент глибоко і у повному обсязі опанував зміст навчального матеріалу, легко в ньому орієнтується і вміло використовує понятійний апарат; уміє пов'язувати

	теорію з практикою, вирішувати практичні завдання, впевнено висловлювати і обґрунтовувати свої судження. Відмінна оцінка передбачає грамотний, логічний виклад відповіді (як в усній, так і у письмовій формі), якісне зовнішнє оформлення роботи. Студент не вагається при видозміні запитання, вміє робити детальні та узагальнюючі висновки. При відповіді допустив дві-три несуттєві похибки.
Добре	Студент виявив повне засвоєння навчального матеріалу, володіє понятійним апаратом, орієнтується у вивченому матеріалі; свідомо використовує теоретичні знання для вирішення практичних задач; виклад відповіді грамотний, але у змісті і формі відповіді можуть мати місце окремі неточності, нечіткі формулювання закономірностей тощо. Відповідь студента має будуватися на основі самостійного мислення. Студент у відповіді допустив дві-три несуттєві помилки.
Задовільно	Студент виявив знання основного програмного матеріалу в обсязі, необхідному для подальшого навчання та практичної діяльності за професією, справляється з виконанням практичних завдань, передбачених програмою. Як правило, відповідь студента будується на рівні репродуктивного мислення, студент має слабкі знання структури курсу, допускає неточності і суттєві помилки у відповіді, вагається при відповіді на видозмінене запитання. Разом з тим набув навичок, необхідних для виконання нескладних практичних завдань, які відповідають мінімальним критеріям оцінювання і володіє знаннями, що дозволяють йому під керівництвом викладача усунути неточності у відповіді.
Незадовільно	Студент виявив розрізнені, безсистемні знання, не вміє виділяти головне і другорядне, допускається помилок у визначенні понять, перекручує їх зміст, хаотично і невпевнено викладає матеріал, не може використовувати знання при вирішенні практичних завдань. Як правило, оцінка "незадовільно" виставляється студенту, який не може продовжити навчання без додаткової роботи з вивчення дисципліни.

Структурування дисципліни за видами робіт і оцінювання результатів навчання студентів денної форми здобуття освіти за ваговими коефіцієнтами

Аудиторна робота								Самостійна робота		Семестровий контроль, іспит
Лабораторні роботи №:								Тестовий контроль		
1	2	3	4	5	6	7	8	T1-4	T5-9	Підсумковий контрольний захід
BK*:								0,4		0,4

*Умовні позначення: BK – ваговий коефіцієнт

Структурування дисципліни за видами робіт і оцінювання результатів навчання студентів заочної форми здобуття освіти за ваговими коефіцієнтами

Аудиторна робота		Самостійна, індивідуальна робота		Семестровий контроль, іспит
Лабораторні роботи №		Тестовий контроль	Контрольна робота	Підсумковий контрольний захід
1	2			
BK*:		0,1	0,2	0,5

*Умовні позначення: BK – ваговий коефіцієнт

Оцінювання тестових завдань

Тематичний тест для кожного студента складається з двадцяти тестових завдань, кожне з яких оцінюється одним балом. Максимальна сума балів, яку може набрати студент, складає 20.

Оцінювання здійснюється за **чотирибальною** шкалою. Відповідність набраних балів за тестове завдання оцінці, що виставляється студенту:

Сума балів за тестові завдання	8-11	12-15	16-19	20
Оцінка за 4-бальною шкалою	2	3	4	5

На тестування відводиться 25 хвилин. Студент може пройти тестування в он-лайн режимі у Модульному середовищі для навчання.

При отриманні негативної оцінки тест слід перездати до терміну наступного контролю.

Підсумкова семестрова оцінка за інституційною шкалою і шкалою ЄКТС встановлюється в автоматизованому режимі після внесення викладачем усіх оцінок до електронного журналу. Співвідношення інституційної шкали оцінювання і шкали оцінювання ЄКТС наведені у таблиці.

Оцінка ЄКТС	Інституційна інтервальна шкала балів	Інституційна оцінка, критерії оцінювання		
A	4,75–5,00	5	Зараховано	Відмінно – глибоке і повне опанування навчального матеріалу і виявлення відповідних умінь та навичок
B	4,25–4,74	4		Добре – повне знання навчального матеріалу з кількома незначними помилками
C	3,75–4,24	4		Добре – в загальному правильна відповідь з двома-трьома суттєвими помилками
D	3,25–3,74	3		Задовільно – неповне опанування програмного матеріалу, але достатнє для практичної діяльності за професією
E	3,00–3,24	3		Задовільно – неповне опанування програмного матеріалу, що задовольняє мінімальні критерії оцінювання
FX	2,00–2,99	2	Незараховано	Незадовільно – безсистемність одержаних знань і неможливість продовжити навчання без додаткових знань з дисципліни
F	0,00–1,99	2		Незадовільно – необхідна серйозна подальша робота і повторне вивчення дисципліни

7) Питання для самоконтролю результатів навчання

1. В чому заключається істотна особливість хіміко-технологічних процесів?
2. Що являють потоки речовин які приймають участь в процесах хімічної технології?
3. В чому складається істотна особливість хіміко-технологічних процесів?
4. В чому полягає суть моделювання?
5. Що таке моделювання?
6. Коли може бути отримана реальна користь від моделювання?
7. За якими головними цілями може здійснюватися моделювання?
8. На скільки класів залежно від способу реалізації можна розділити всі моделі?
9. Які види математичного моделювання розрізняють?
10. На чому базується опис об'єктів і систем?
11. Що таке адекватність? Назвіть найбільш важливий ряд властивостей якими володіють моделі, від яких залежить успіх їхнього застосування?
12. Назвіть ряд рівняв ісрархії ефектів.
13. Проведіть класифікацію моделей.
14. Що таке матеріальні моделі?
15. Що таке ідеальні моделі?
16. Що таке матеріальне моделювання?
17. Що таке нескінчене сповільнення?
18. В чому заключається Парадокс Д'Аламбера?
19. Які явища описують рівняння Лапласа?
20. На які різновиди поділяється матеріальне моделювання?
21. Як проводиться математичний опис для будь-якого з виходів системи? Навести два основних підходи до опису систем.
22. Що являє собою емпіричний підхід до вирішення задач.

23. Що являє собою структура математичного опису при структурному підході?
24. Яким чином можна описувати емпіричні моделі?
25. Що таке точність моделей?
26. Що таке параметри моделі?
27. Що являють собою об'єкти із зосередженими та розподіленими параметрами?
28. Що називають проектними та перевірочними розрахунками?
29. Що таке описова статистика?
30. Що таке математичне сподівання?
31. Що розуміють під іншими видами середніх?
32. Що таке вибіркова медіана? Що таке мода m_x ?
33. Що таке дисперсія?
34. Що являє собою середньоквадратичне відхилення?
35. Що таке параметричні тести?
36. Що таке непараметричні тести?
37. Як видаляються недоліки незручності представлення результатів експериментів у вигляді таблиць або графіків?
38. Які методи найчастіше використовують для розрахунків параметрів b_0, b_1 ? В чому полягає метод МНК? Дати повну відповідь.
39. Що забезпечують розраховані значення параметрів b_0, b_1 рівняння $y = b_0 + b_1 x$? Які параметри можна визначити МНК і як?
40. Що потрібно робити якщо функція нелінійна? Навести приклади.
41. Навести формулу розрахунку b_0 , та b_1 . Як проводиться побудова загальної лінійної моделі?
42. Що таке лінійна модель парної регресії?
43. Як проводиться оцінка значущості рівняння лінійної регресії?
44. Що називають кореляцією двох випадкових величин?
45. Які ознаки вважають статистично незалежними?
46. Яка задача основного експерименту?
47. Що таке фактор? Що таке рівень фактору?
48. Як проводиться кодування факторів?
49. Як застосовується метод Гауса-Зейделя?
50. Як застосовується градієнтний метод? Які методи відносяться до факторних методів визначення екстремуму?
51. На чому заснований метод крутого сходження?
52. Розписати алгоритм методу крутого сходження.
53. Як будується діаграма склад-властивість?
54. Що таке симплекс гратасті плани?
55. Як будується діаграма склад-властивість?
56. Для чого використовується узагальнений параметр оптимізації?
57. Як визначаються коефіцієнти моделі для узагальненого параметра?
58. Яким чином розбивається шкала бажаності?
59. Яким чином проводиться обмеження шкали бажаності?
60. Що характерно для сучасного підходу до оптимізації?

Рекомендована література

Основна:

1. Денисюк Р.О. Хімічна технологія: Підручник. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2017. 350 с.
2. Мисюра Т.Г., Попова Н.В. Математичне моделювання та оптимізація об'єктів хімічної технології [Електронний ресурс]: курс лекцій для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» освітньо-професійної програми «Хімічна технологія» денної та заочної форм навчання. К.: НУХТ, 2020. 234 с.

3. Красніков І.Л. та ін..Математичне моделювання об'єктів керування хімічних і фармацевтичних виробництв : навч. посібник / ред. А. К. Бабіченко. Харків: ТОВ «С.А.М.», 2015. 224 с.
4. Огірко О.І., Галайко Н.В. Теорія ймовірностей та математична статистика: навчальний посібник. Львів: ЛьвДУВС, 2017. 292 с.
5. Куляс П. П. Типологія помилок: підручник-монографія. К: Вид-во НПУ імені М.П. Драгоманова, 2015. 464 с

Допоміжна:

6. Найко Д.А. Шевчук О. Ф. Теорія ймовірностей та математична статистика: навч. посіб. Вінниця: ВНАУ, 2020. 382 с.
7. Конспект лекцій з дисципліни «Математичне моделювання та оптимізація об'єктів хімічної технології» для студентів спеціальності «Хімічні технології переробки деревини та рослинної сировини» / Укл.: О.В. Черваков, М.В. Андріянова. Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2016. 33 с.
8. Руденко В.М. Математична статистика. Навч. посіб. К.: Центр учбової літератури, 2012. – 304 с
9. Чуйко Г.П., Дворник О.В.,Яремчук О.М. Математичне моделювання систем і процесів : навчальний посібник. Миколаїв: Вид-во ЧДУ імені Петра Могили, 2015. 244 с.
10. Супрунович С.В., Кормош Ж.О., Сливка Н.Ю. Статистичні та хеометричні методи в хімії : Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Луцьк: ВНУ імені ЛесіУкраїнки, 2022. 210 с.
11. Матвійчук В.А., Веселовська Н.Р., Шаргородський С.А. Математичне моделювання новітніх технологічних систем: монографія. Вінниця: 2021. 193 с.

Інформаційні ресурси:

- 1 Модульне середовище для навчання MOODLE. Доступ до ресурсу: <https://msn.khmnu.edu.ua/course/view.php?id=395>
- 2 Електронна бібліотека університету. Доступ до ресурсу: http://lib.khmnu.edu.ua/asp/php_f/p1age_lib.php