



Методи моделювання та оптимізації

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>132 Матеріалознавство</i>
Освітня програма	<i>Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>заочна прискорена</i>
Рік підготовки, семестр	<i>II курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>3 кредити ECTS</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік / МКР / Розрахункова робота</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua/Schedules/ViewSchedule.aspx</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н., доц. Степанов Олег Васильович, ostepanoff@iff.kpi.ua; +380 50 330 68 15; Лабораторні (комп'ютерний практикум): к.т.н., доц. Степанов Олег Васильович, ostepanoff@iff.kpi.ua; +380 50 330 68 15;</i>
Розміщення курсу	<i>Google classroom; електронний кампус: https://ecampus.kpi.ua/</i>

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Математичне моделювання є сучасним методом, що широко застосовується при розробці, проектуванні та дослідженні систем, зокрема технічних. Математичні методи моделювання та оптимізації не залежать від галузі їх застосування і можуть застосовуватись в соціальних, правових, медичних, технічних та інших напрямках дослідження, оскільки оперують не окремими факторами а співвідношенням факторів. Математичне моделювання застосовують для встановлення та уточнення механізмів процесів, розробки алгоритмів конструкторських та технологічних розрахунків, імітації роботи систем та їх складових, оптимізації технологічних процесів, виробів, матеріалів, тощо. Таким чином математичні методи моделювання та оптимізації можуть розглядатися як універсальний засіб одержання та/або оброблення інформації, здатний замінити або доповнити натурний експеримент. Саме тому оволодіння математичними методами моделювання та оптимізації є невід'ємною частиною підготовки фахівців з вищою освітою.

Предметом вивчення дисципліни методи моделювання та оптимізації є: математичні методи відбору параметрів математичних, структурної та параметричної ідентифікації моделей, дослідження та оптимізації технічних, зокрема матеріалознавчих, систем на основі їх моделей.

Метою дисципліни є розвиток у студентів загальної компетентності – здатності до абстрактного мислення, аналізу та синтезу; а також формування фахових здатностей:

- застосовувати відповідні кількісні математичні, фізичні і технічні методи і комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних матеріалознавчих завдань;

- застосовувати системний підхід до вирішення інженерних матеріалознавчих проблем;
- застосовувати сучасні методи математичного та фізичного моделювання, дослідження структури, фізичних, механічних, функціональних та технологічних властивостей матеріалів для вирішення матеріалознавчих проблем
- застосовувати сучасні підходи оптимізації та дизайну матеріалів для удосконалення їх властивостей залежно від умов експлуатації.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

- Уміти експериментувати та аналізувати дані
- Знати та застосовувати у професійній діяльності принципи проектування нових матеріалів
- Знати і використовувати методи фізичного і математичного моделювання при створенні нових та удосконаленні існуючих матеріалів, технологій їх виготовлення.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Дисципліна викладається у шостому семестрі підготовки за освітньо-професійною програмою бакалаврів, має систематизуючий узагальнюючий характер. Для успішного засвоєння дисципліни студент повинен оволодіти набором компетентностей та програмних результатів навчання дисциплін:

- Вища математика;
- Фізика;
- Інформатика, обчислювальна техніка, програмування та числові методи;
- Теоретична та прикладна механіка.

Результати вивчення дисципліни необхідні для вивчення дисциплін:

- Основи організації експерименту;
- Основи комп'ютерного дизайну матеріалів;
- При виконанні курсових та дипломних робіт (проектів) та як складова інтегральної компетентності підготовки за освітньо-професійною програмою.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Математичне моделювання при створенні матеріалів та процесів їх обробки

Тема 1. Математичні моделі

Розділ 2. Розробка математичних моделей.

Тема 2. Основні етапи створення математичних моделей

Тема 3. Ідентифікація структури та параметрів моделей

Тема 4. Особливості ідентифікації параметрів стохастичних та динамічних моделей

Розділ 3. Методи безумовної оптимізації.

Тема 5. Оптимізація функції однієї змінної

Тема 6. Оптимізація багатомірної функції

Розділ 4. Методи умовної оптимізації.

Тема 7. Загальна задача нелінійного програмування

Тема 8. Задача лінійного програмування, симплекс-метод.

Тема 9. Методи перетворення задач нелінійного програмування

4. Навчальні матеріали та ресурси

4.1 Базова література

1. Степанов О.В. Математичне моделювання та оптимізація: Навч посіб.– К.:ІВЦ «Видавництво «Політехніка»», 2004. – 112с.
2. Зайченко Ю.П. Дослідження операцій. Підручник. Київ. Видавничий дім «Слово». 2006.- 816с.
3. Фомин Б.Ф. Моделирование производственных систем. / Б.Ф.Фомин, В.Б.Яковлев Сер. Автоматика и управление в технических системах. - К.:Вища школа., 1992. - 192 с.
4. Оптимизация в технике/ Г.Реклейтис, А.Рейвидран, К.Регсдел. В 2-х кн. - М.:Мир, 1986.

Базова література доступна в науково-технічній бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського, навчальний посібник [1] – в бібліотеці кафедри ВТМ та ПМ. В електронному репозиторії кафедри наявні електронні копії перерахованих джерел в форматах pdf або djvu. Навчальний посібник [1] практично повністю відповідає змісту навчальної дисципліни і може використовуватись як базовий. У підручнику [3] розглянуто питання розділів 1 та 2. Джерела [2] та [4], більш орієнтовані на питання оптимізації (розділи 3 та 4).

Додаткова література

1. Вагнер Г. Основы исследования операций. М.:Мир. 1972-73. В 3-х томах.
2. Дж. Клар. Системология. Автоматизация решения системных задач: - М.:Радио и связь, 1990. - 544 с.
3. Федоткин И.М. Математическое моделирование технологических процессов. - К.: Вища школа, 1988. - 415 с.
4. Растринин Л.А. Современные принципы управления сложными объектами. М.:Советское радио, 1980. - 156 с.
5. Растринин Л.А., Маджаров Н.Е. Введение в идентификацию объектов управления. М.:Энергия, 1977. - 215 с.
6. Васильев Ф.П. Численные методы решения экстремальных задач. М.: Наука, 1988. - 552 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

5.1 Лекції (8 годин)

Заняття 1. Вступ. Мета та програмні цілі дисципліни, рейтингова система оцінювання Математичні моделі. Основні положення теорії систем. Зв'язок математичного моделювання з завданнями дослідження, оптимізації та управління технічними системами, процесами та об'єктами. Класифікація математичних моделей.

Зв'язок структури математичної моделі з особливостями системи, що моделюється: динамічні та статичні моделі, детерміновані та стохастичні моделі. [1, 3]

Структурна ідентифікація моделей. Основні етапи створення математичних моделей. Простір ситуацій та цілей. Формування факторного простору. Вимоги до параметрів моделей. [1, 3].

Ідентифікація параметрів лінійних моделей Ідентифікація параметрів статичних моделей. Лінійні моделі. Метод найменших квадратів. Обмеження методу найменших квадратів. Вивід системи ідентифікації для лінійної статичної моделі з N-вимірним входом [1, 3].

Ідентифікація параметрів нелінійних моделей Ідентифікація параметрів статичних моделей. Нелінійні моделі. Можливості застосування методу найменших квадратів для ідентифікації лінійних моделей (функціональних та лінійних відносно параметрів ідентифікації). Засоби лінеаризації нелінійних моделей. [1, 3].

Ідентифікація параметрів моделей з ускладненою структурою Особливості ідентифікації параметрів математичних моделей з суттєвою стохастичною природою. Декореляція

випадкових величин. Особливості структурної та параметричної ідентифікації динамічних моделей. [1, 3].

Заняття 2. Оптимізація. Загальна постановка задачі оптимізації. Класифікація оптимізаційних задач, та методів пошукової оптимізації. Задачі однопараметричної та багатопараметричної оптимізації. [1, 4].

Методи прямого пошуку: метод триточкового пошуку на рівних інтервалах, метод золотого перетину, метод Пауела. Методи, що базуються на понятті похідної при розв'язку задач однопараметричної оптимізації – метод дотичних, метод хорд, метод дихотомії. [1, 4].

Прямі методи багатопараметричної оптимізації Багатопараметрична оптимізація. Необхідна умова існування екстремуму функції декількох невідомих. Оптимізація методами пошуку за симплексом та Хука-Дживса. [1, 3, 4].

Прямі методи багатопараметричної оптимізації Оптимізація функції декількох змінних методом спряжених напрямків Пауела. Квадратична форма та її властивості. Перетворення квадратичної форми. Оптимізація функції декількох змінних методом спряжених напрямків Пауела. [1, 4].

Заняття 3. Багатопараметрична оптимізація градієнтними методами Градієнтні методи оптимізації функції декількох змінних. Необхідна та достатня умова оптимальності. Обмеження на використання градієнтних методів [1, 4].

Багатопараметрична оптимізація градієнтними методами Метод Ньютона. Казіньютонівські методи. Можливість застосування градієнтних та ньютонівських методів для оптимізації експериментальної функції. [1, 4].

Заняття 4. Умовна оптимізація. Загальна задача математичного програмування. Метод множників Лагранжа. Умови та задача Куна-Таккера. Умови існування екстремума. (електронна презентація [1, 3, 4].

Задачі лінійного програмування. Умовна оптимізація у випадку лінійної функції та лінійних обмежень. Методи лінійного програмування. Симплекс метод. Фізичний зміст коефіцієнтів системи симплекс методу. [1, 3, 4].

Задачі лінійного програмування. Фізичний зміст коефіцієнтів системи симплекс методу. Оцінка стійкості одержаного розв'язку до зміни окремих параметрів вихідної моделі. Зворотня задача. [1, 3, 4].

Використання методів безпосереднього пошуку та перетворення задачі при розв'язку задач умовної оптимізації. Метод комплексів, метод штрафних функцій. [1, 3, 4].

Семестровий контроль – Залік проводиться в окремо виділений у розкладі заочної форми навчання час – 2 години.

Лекції мають настановчий характер. Окреслюється тематика та засоби засвоєння матеріалу шляхом опрацювання теоретичного матеріалу, виконання комп'ютерних практикумів та інших практичних вправ в програмному середовищі python.

5.2 Комп'ютерний практикум (6 годин)

Мета комп'ютерного практикуму:

- практично оволодіти реалізацією математичних методів моделювання та оптимізації в середовищі електронних таблиць (табличних процесорів загального призначення) та/або в середовищі сучасних систем діалогової математики

- напрацювати методики підготовки даних та оцінки одержаних результатів при розв'язанні задач оптимізації.

Зміст комп'ютерних практикумів

1. Розв'язання систем лінійних рівнянь методом Гауса в середовищі електронних таблиць
2. Ідентифікація параметрів лінійних моделей декількох змінних методом найменших квадратів
3. Ідентифікація параметрів нелінійних моделей декількох змінних лінійних відносно параметрів ідентифікації
4. Оптимізація функції однієї змінної методом золотого перетину
5. Оптимізація функції однієї змінної методом квадратичної апроксимації Пауела
6. Оптимізація функції декількох змінних методом пошуку за симплексом
7. Оптимізація функції декількох змінних методом Ньютона
8. Розв'язання стандартної задачі лінійного програмування

Аудиторні заняття комп'ютерного практикуму відводяться для вступу, розгляду процедури розв'язання, формулювання індивідуальних завдань. Решта комп'ютерних практикумів виконується в рамках самостійної роботи студентів.

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота студентів (загальна тривалість 76 годин) полягає у:

Самостійному опрацюванні лекційного матеріалу в розрахунку 3 години на 1 годину лекцій, – всього 24 години

Підготовці та виконанні комп'ютерних практикумів (4 години на практикум) – всього 32 години

Виконанні розрахункової роботи – всього 12 годин

Підготовці до семестрової атестації – заліку – 6 годин.

Семестровий контроль – 2 години.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які ставляться перед аспірантом:

- Під час усіх видів аудиторних занять забороняється використання мобільних телефонів у звуковому режимі, дозволяється обмежене використання месенджерів у беззвучному режимі. Під час комп'ютерних практикумів дозволяється застосування персональних комп'ютерів для пошуку інформації, використання власних ресурсів, тощо.
- Результати виконаних комп'ютерних практикумів оформлюються у вигляді звітів з застосуванням текстового редактора. Звіт включає текстовий та ілюстраційний матеріал, що підтверджує виконання завдання, може включати посилення на електронну таблицю, у якій виконано розрахунки, завершується висновком.
- Розрахункова робота оформлюється у вигляді звіту з посиланнями на електронні таблиці з виконаними розрахунками. Таблиці повинні містити коментарі, стосовно використаних методів, прийнятих рішень у вузлах алгоритмів.
- Заохочувальні бали можуть бути призначені за особливі досягнення – зокрема застосування власних програм для реалізації методів які вивчаються, що дає змогу досліджувати властивості самих методів.
- Політикою дедлайнів передбачається необхідність своєчасного виконання завдань.

Конспект пропущеної лекції має бути виконаний і поданий на перевірку не пізніше 2-х тижнів з часу пропущеної лекції. У випадку пропуску лекції через тривалу хворобу – не більше 2-х тижнів після одужання. Звіти з практичних занять виконуються і подаються на перевірку не пізніше 2-х тижнів з моменту завершення. Усі письмові документи мають бути захищені до закінчення теоретичного навчання в семестрі.

- Усі учасники освітнього процесу: викладачі і студенти в процесі роботи вивчення дисципліни мають керуватись принципами академічної доброчесності, передбаченими «Кодексом честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»» <https://kpi.ua/code>.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Оцінювання результатів навчання проводиться за рейтинговою системою, складеною відповідно до вимог «Положення про систему оцінювання результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського»

Поточне оцінювання включає оцінку:

- підготовки, виконання, оформлення звітів та захисту комп'ютерних практикумів;
- виконання індивідуального семестрового завдання (розрахункової роботи)

Повне виконання та захист результатів комп'ютерного практикуму оцінюється в 5 балів (8 практикумів = 40 балів). Неповне виконання завдання, помилки в алгоритмах розрахунку, кінцевих результатах призводить до зниження оцінки на 1 або 2 бали.

Максимальна оцінка за повне виконання та захист розрахункової роботи складає 60 балів, які розкладаються наступним чином: 1-ше та 2-ге завдання по 8 балів, 3-тє та 4-те – по 10 балів, 5-те завдання 8 балів. 6 – 16 балів. Помилки при виконанні знижують оцінку завдання на 1-4 бали, для 6-го завдання на 2-8 балів.

Семестровий контроль – залік. Згідно схеми PCO-1 «Положення про систему оцінювання результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського»:

Рейтингова оцінка складається з балів, отриманих студентом за результатами поточного контролю

Рейтингова оцінка доводиться до здобувачів на передостанньому занятті з дисципліни в семестрі, але після захисту усіх звітів з комп'ютерних практикумів та розрахункової роботи. Здобувачі, які виконали умови допуску до заліку (не менше 24 балів за комп'ютерні практикуми та не менше 30 балів за розрахункову роботу) та мають рейтингову оцінку 60 і більше балів, отримують відповідну до набраного рейтингу оцінку без додаткових випробувань.

Зі здобувачами, які виконали умови допуску до заліку але мають рейтингову оцінку менше 60 балів, а також з тими здобувачами, хто бажає підвищити свою рейтингову оцінку, на останньому за розкладом занятті з дисципліни в семестрі проводиться семестровий контроль у вигляді залікової контрольної роботи. Задачі, що виносяться на залікову контрольну роботу є комбінацією завдань 1-ї та 2-ї частин МКР. Залікова контрольна робота оцінюється максимальною оцінкою 40 балів. Семестровий рейтинг обчислюється як сума оцінки за розрахункову роботу та оцінки за залікову контрольну роботу.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

9.1. Особливості викладання студентам заочної форми навчання

Відповідно до навчального плану заочної форми навчання аудиторне навантаження складає 8 годин лекцій та 6 годин комп'ютерних практикумів. Аудиторні заняття використовуються як настановчі. Завдання комп'ютерних практикумів студенти виконують у міжсесійний період з можливістю консультування з викладачем за допомогою електронних засобів зв'язку. Розрахункова робота оцінюється максимальною оцінкою 60 балів.

Викладання дисципліни за змішаною або дистанційною формою навчання здійснюється з застосуванням платформи [google.classroom](https://classroom.google.com/) та середовища [google.meet](https://meet.google.com/).

Лекційні заняття проводяться в on-line режимі. Теми лекційних занять, демонстраційний матеріал у вигляді презентацій з текстовими коментарями, контрольні запитання надаються студентам заздалегідь.

Комп'ютерні практикуми виконуються в міжсесійний період із застосуванням власних засобів комп'ютерної техніки студентів. Рекомендоване середовище виконання розрахунків – on-line електронні таблиці комплекту [google.docs](https://docs.google.com/).

Контрольні заходи проводяться у on-line режимі.

9.2. Зарахування результатів проходження дистанційних курсів

Враховуючи сучасний розвиток систем дистанційної освіти і різноманітність курсів, що пропонуються провідними університетами світу, студенти можуть оволодівати знаннями з окремих розділів навчальної дисципліни з використанням сервісів edx.org, coursera.org або prometeus.org.ua. Умови зарахування результатів проходження дистанційного навчання визначаються в індивідуальному порядку. Студент, що бажає зарахувати результати дистанційного навчання, має звернутись до викладача з інформацією про дистанційний курс та власні побажання щодо його перезарахування. Рішення про перезарахування може бути прийнято в будь-який час, до проведення підрахунку середньозваженого рейтингу і не може бути відмінене.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцент каф. ВТМ та ПМ, к.т.н., доцент Степанов Олег Васильович

Ухвалено кафедрою ВТМ та ПМ (протокол № ___ від _____)

Погоджено Методичною комісією

Інституту матеріалознавства та зварювання ім. Є.О Патона (протокол № __ від _____)

Завдання розрахункової роботи.

Завдання #	ХХ	Студент	Прізвище І.П.					
1	Використовуючи знайти мінімум функції починаючи з точки	Метод трьохточкового пошуку на рівних інтервалах $Y=(\exp(X-3))/(X+3) - 4*X$ 1	з точністю 0.05					
2	Використовуючи знайти мінімум функції на інтервалі	Метод хорд $Y=(X-3)^2 + \ln(X+0.9)/(X+0.3)$ 1, 8.5	з точністю 0.05					
3	Використовуючи знайти мінімум функції починаючи з точки	Метод Хука-Дживса $Y=(X1-5)^2+(X2-2)^2+(X3-2)^2+X2*X3$ 0, 0, 0	з точністю 0.05 за кожним аргументом					
4	Використовуючи знайти мінімум функції починаючи з точки	Метод покоординатного спуску Гауса-Зейделя $Y=(X1-5)^2+(X2-5)^2+(X3-5)^2+(X1*X2)/(X2+X3)$ 0, 0, 1	з точністю 0.05 за кожним аргументом					
5	Використовуючи метод найменших квадратів за наведеною таблицею значень знайти параметри моделі:	$Y=C0+C1X1+C2X2+C3X3+C4X2X3$						
X1	3,00	1,00	2,00	1,00	1,00	2,00	3,00	3,00
X2	1,00	2,00	3,00	1,00	2,00	3,00	2,00	1,00
X3	2,00	2,00	1,00	2,00	1,00	3,00	1,00	3,00
Y	27,30	29,90	30,00	21,10	20,90	53,60	27,10	33,50

Завдання 6 . Вихідні дані показують залежність однієї з властивостей 4-компонентного сплаву від кількості легувальних домішок (X1, X2, X3). Кожен студент має власний набір даних.

Властивість задовільно апроксимується повними квадратами компонентів - рівнянням:

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + a_{33}x_3^2 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3$$

Проведення нового експерименту є досить дорогим, тому необхідно знайти точку (склад матеріалу), в якій значення властивості відповідає мінімуму апроксимуючої моделі. Не існує ніяких обмежень на методи та засоби розрахунку. Усі кроки мають бути документовані: описати чому зробили саме так і який результат одержали.

Оцінюється а) правильне знаходження коефіцієнтів моделі і їх перевірка; б) правильний обґрунтований вибір методу оптимізації; в) правильне визначення початкової точки пошуку; г) правильно знайдений мінімум (і підтверджений з похибкою не гірше 0.05 за кожною змінною).