



КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	G-Інженерія, виробництво та будівництво
Спеціальність	G3-Електрична інженерія
Освітня програма	«ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ ПРИСТРОЇ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ»
Статус дисципліни	Обов'язкова (нормативна)
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	III курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	4,5 кредити ECTS / 135 годин Аудиторних – 72 год: лекції – 36 годин; лабораторні роботи – 36 годин; самостійна робота – 63 години
Семестровий контроль / контрольні заходи	Екзамен / МКР
Розклад занять	1 лекція (2 години) 1 раз на тиждень; 1 лабораторна робота (2 години) 1 раз на тиждень
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.т.н. Щерба Максим Анатолійович, e-mail: m.shcherba@gmail.com, telegram: @m_shcherba Лабораторні: д.т.н. Щерба Максим Анатолійович, e-mail: m.shcherba@gmail.com, telegram: @m_shcherba
Розміщення курсу	Матеріали до курсу розміщені на сайті https://do.ipu.kpi.ua/course/view.php?id=1874

Програма навчальної дисципліни

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

Програму навчальної дисципліни «Комп'ютерно-інтегровані технології в електроенергетиці» складено відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалавра з галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Метою навчальної дисципліни є формування та закріплення у студентів наступних компетентностей: **K01**. Здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу; **K11**. Здатність вирішувати практичні задачі із застосуванням систем автоматизованого проектування і розрахунків (САПР); **K13**. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з роботою електричних систем та мереж, електричної частини станцій і підстанцій та техніки високих напруг; **K28**. Здатність вирішувати задачі 3D моделювання та конструювання енергетичних і електротехнічних установок за допомогою електротехнічних систем автоматизованого проектування.

Предметом дисципліни є основні закони електромагнетизму, теорії поля, термодинаміки, механіки та відповідний математичний апарат для розрахунку усталених та перехідних процесів, статичних та динамічних режимів, які виникають в електротехнічних та електроенергетичних пристроях та комплексах.

Програмні результати навчання на формування та покращення яких спрямована дисципліна: **ПРО6.** Застосовувати прикладне програмне забезпечення, мікроконтролери та мікропроцесорну техніку для вирішення практичних проблем у професійній діяльності; **ПРО7.** Здійснювати аналіз процесів в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні, відповідних комплексах і системах; **ПРО8.** Обирати і застосовувати придатні методи для аналізу і синтезу електромеханічних та електроенергетичних систем із заданими показниками; **ПРО9.** Уміти оцінювати енергоефективність та надійність роботи електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем; **ПРО27.** Знати і вміти працювати зі спеціалізованим програмним забезпеченням для аналізу методом скінчених елементів, розв'язування та імітації для різноманітних фізичних, електричних та механічних додатків.

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

Для успішного засвоєння дисципліни студент повинен володіти теоретичною базою дисциплін «Вища математика», «Фізика», «Обчислювальна техніка та програмування», «Теоретичні основи електротехніки».

3. Зміст навчальної дисципліни

РОЗДІЛ 1. Розв'язання лінійних та нелінійних задач методом скінчених елементів

Тема 1.1. Вирішення стаціонарних лінійних задач

Тема 1.2. Вирішення стаціонарних нелінійних задач

Тема 1.3. Нарощування навантаження та підвищення ступеня нелінійності і їх вплив на збіжність нелінійних задач

РОЗДІЛ 2. Основні етапи побудови математичної моделі

Тема 2.1. Створення CAD-геометрії об'єкту

Тема 2.2. Побудова та оптимізація розрахункової сітки скінчених елементів

РОЗДІЛ 3. Особливості вирішення мультифізичних задач

Тема 3.1. Підбір апроксимуючої кривої для масиву даних. Методи обчислення інтегралів за часом та простором

Тема 3.2. Приклади вирішення мультифізичних завдань, поліпшення їх збіжності

Тема 3.3. Візуалізація результатів чисельного експерименту

Тема 3.4. Автоматизація чисельного моделювання

4. Навчальні матеріали та ресурси

1. Чисельні методи розв'язання прикладних задач : навч. посіб. / О. А. Гончаров, Л. В. Васильєва, А. М. Юнда. Суми : Сумський державний університет, 2020. 142 с. ISBN 978-966-657-828-3
2. Чисельні методи: Навчальний посібник. / Волонтир Л.О, Зелінська О.В., Потапова Н.А., Чіков І.А., Вінницький національний аграрний університет. Вінниця: ВНАУ, 2020 322 с. ISBN 978-617-7789-18-4
3. Диференціальні рівняння. Навчальний посібник для інженерних спеціальностей [Електронний ресурс]: навч. посіб. / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: І.М. Копась. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 126 с.
4. Основи теорії електромагнітного поля: Курс лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського, уклад.: Л.Ю. Спінул. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 102 с.

5. Фундаментальні основи теорії електромагнітного поля та процесів: Практикум. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для аспірантів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад. М.Я. Островерхов. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 101 с.
6. Теоретичні основи електротехніки – 1. Електричні кола постійного та змінного струму. Чотириполіусники. Практикум [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: А. А. Щерба, Ю. В. Перетятко. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 116 с.
7. Теоретичні основи електротехніки – 2. Нелінійні системи. Перехідні процеси. Практикум [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Ю. В. Перетятко, А. А. Щерба – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 142 с.
8. Теоретичні основи електротехніки-3. Нелінійні кола. Основи теорії електромагнітного поля. Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Л. Ю. Спінул, М. П. Бурик. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 192 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
Розділ 1 РОЗВ'ЯЗАННЯ ЛІНІЙНИХ ТА НЕЛІНІЙНИХ ЗАДАЧ МЕТОДОМ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ	
Тема 1.1. Вирішення стаціонарних лінійних задач.	
1.	Вирішення лінійних стаціонарних задач за допомогою методу скінчених елементів Лінійна скінчено-елементна модель, стаціонарна скінчено-елементна модель. Розрахункова модель для чисельного експерименту. Використання методу Ньютона-Рафсона.
2.	Розв'язання лінійних систем рівнянь: прямий та ітераційний вирішувачі Лінійна стаціонарна скінченно-елементна задача, прямі методи з використанням LU-розкладання (LU-факторизації): MUMPS, PARDISO, SPOOLES. Ітераційні методи: метод сполучених градієнтів (conjugate gradient method), узагальнений метод мінімальних нев'язок (generalized minimum residual method), стабілізований метод біспряжених градієнтів (biconjugate gradient stabilized method).
Тема 1.2. Вирішення стаціонарних нелінійних задач	
3.	Вирішення стаціонарних нелінійних задач методом кінцевих елементів Стаціонарна нелінійна задача на прикладі системи пружини, прикріпленої до стіни. Причини незбіжності розв'язку нелінійної задачі: 1) Початкове наближення занадто далеко від рішення; 2) задача не має розв'язку; 3) задача не гладка і така, що не диференціюється
4.	Розпізнавання та розв'язок сингулярностей при моделюванні методом кінцевих елементів Появи сингулярності у моделі на прикладі із механіки конструкцій. Глобальний підхід та ігнорування сингулярності. Обчислення похідної польової змінної. Розрахунок інтеграла навколо сингулярності

Тема 1.3. Нарощування навантаження та підвищення ступеня нелінійності і їх вплив на збіжність нелінійних задач	
5.	Нарощування навантаження у нелінійних задачах Нарощування навантаження у нелінійних статичних задачах на прикладі системи із силою, прикладеною до пружини з нелінійною жорсткістю. Концепція нарощування навантаження та використання методу продовження для покращення стійкості методу Ньютона. Приблизне визначити навантаження при зриві рішення.
6.	Підвищення ступеня нелінійності як спосіб покращення збіжності нелінійних задач Нарощування нелінійності на прикладі сили, прикладеної до пружини з нелінійною жорсткістю. Порівняння методів нарощування навантаження та нарощування нелінійності. Поєднання двох підходів шляхом підбору властивостей матеріалів і навантажень. Підбір способу нарощування навантаження, нарощування нелінійності та вибору початкової умови для лінеаризації. Використання методу для нелінійних статичних скінченно-елементних задач у випадку складнощів зі знаходженням початкових умов або у випадку сильної нелінійності та/або розривності у властивостях матеріалів.
7.	Поєднання рішень для параметричних досліджень, розрахунку частотній та часовій області Поєднання даних стаціонарних параметричних досліджень. Параметричне дослідження з використанням кількох параметрів (Multiparameter Sweep). Поєднання рішення в різних областях. Дослідження на власні частоти, у частотній області та у часовій області. Використання операторів with та at для виконання операцій сполучення та порівняння. Використання поєднання рішень в рамках дослідження сіткової збіжності. Використання в якості оцінки збіжності квадрату різниці залежної змінної для різних розмірів сітки.
8.	Переваги використання слабкої форми рівнянь Витоки слабкої форми рівнянь. Вивід рівняння у слабкій формі з класичного диференціального рівняння. Наслідки подальшого згущення сітки. Слабке рівняння, переваги слабкої форми рівнянь.
9.	Оцінка об'єму та оптимізація пам'яті для розрахунку великих математичних моделей Число ступенів свободи. Керування пам'яттю операційною системою керує пам'яттю. Випадки необхідності використання великих обсягів пам'яті. Прямі вирішувачі. Ітераційні вирішувачі. Прогноз необхідного обсягу пам'яті та оцінка обладнання, яке найкраще підходить для вирішення поставлених завдань моделювання.
Розділ 2 ОСНОВНІ ЕТАПИ ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ	
Тема 2.1. Створення CAD-геометрії об'єкту.	
10.	Геометричні ядра Роль геометрії у процесі моделювання. Математичні засади. Вибір геометричного ядра. CAD-операції та CAD-імпорт.
11.	Принцип побудови розрахункової сітки для лінійних стаціонарних задач. Використання елементів різних типів. Побудова скінченно-елементної сітки. Дискретизація геометрії. Дискретизація рішення. Адаптивне згущення сітки. Типи елементів. Причини та випадки використання елементів. Тетраедричний елемент. Приклади побудови сіток: колісний диск, навантажена пружина, речовина на пластині.
Тема 2.2. Побудова та оптимізація розрахункової сітки скінчених елементів.	
12.	Використання адаптивного згущення сітки для уточнення рішення у певній області моделі. Параметри, що регулюють розмір вільної тетраедричної сітки. Використання згущення сітки на основі глобальної метрики. Адаптивне згущення сітки на основі локальної метрики, пов'язаної з рішенням. Загальні відомості про параметри розмірності. Робота з параметрами сітки. Критерії для оцінки якості сітки. Порівняння статистики сіток.

13.	Розбиття сітки для нелінійних статичних скінченно-елементних задач Сітка для нелінійних задач. Розбіжність задачі при занадто грубому розбитті сітки в області сильної нелінійності навіть за умови коректної фізико-математичної постановки і вибору правильного методу вирішення. Залежність швидкості збіжності і самої можливості збіжності від алгоритму вирішувача і сітки розбиття. Використання технік: фіксованого (заданого користувачем вручну) та адаптивного подрібнення розбиття сітки, нарощування навантаження, посилення нелінійності та їх комбінацій для розробки складних моделей. Дослідження сітки розбиття для оцінки точності рішення.
Розділ 3. ОСОБЛИВОСТІ ВИРІШЕННЯ МУЛЬТИФІЗИЧНИХ ЗАДАЧ	
Тема 3.1. Підбір апроксимуючої кривої для масиву даних. Методи обчислення інтегралів за часом та простором	
14.	Підбір апроксимуючої кривої для експериментальних даних. Підбір кривої як завдання мінімізації функції. Створення нового файлу з одновимірним компонентом. Використання інтерфейсу фізики Global ODEs та DAEs (глобальні звичайні диференціальні рівняння та алгебраїчні диференціальні рівняння) для знаходження коефіцієнтів з використанням стаціонарного вирішувача. Подальші розширення.
15.	Огляд методів обчислення інтегралів за часом та простором Приклади необхідності обчислення інтегралів при математичному моделюванні. Обчислення інтегралів у вузлі Derived Values. Обчислення просторового інтеграла з використанням операторів вузла Component Coupling. Обчислення невизначеного інтеграла за допомогою оператора інтегрування. Обчислення просторового інтеграла за допомогою додаткового фізичного інтерфейсу. Обчислення часового інтеграла за допомогою вбудованих операторів. Обчислення часового інтеграла за допомогою додаткового фізичного інтерфейсу. Обчислення інтеграла від аналітичних функцій та виразів.
Тема 3.2. Приклади вирішення мультифізичних завдань, поліпшення їх збіжності	
16.	Рішення мультифізичних задач та поліпшення їх збіжності Проста стаціонарна мультифізична задача. Взаємозалежні рівняння. Повністю взаємопов'язаний і роздільний алгоритми і їх використання для вирішення стаціонарних мультифізичних задач. Методика для прискорення збіжності обох цих методів (нарощування навантаження та посилення нелінійності). Посилення мультифізичних задач. Покрокове рішення (підхід послідовного рішення).
Тема 3.3. Візуалізація результатів чисельного експерименту	
17.	Графіки скалярного поля, об'ємні та лінійні графіки. Візуалізація результатів у поперечних перерізах. Візуалізація хвильових процесів за допомогою контурних графіків та графіків із поверхонь. Ефективне виконувати постобробки математичних моделей. Графіки скалярного поля. Лінійні та об'ємні графіки. Приклади для візуалізації. Створення перерізів та правильне задання площини. Використання перерізів для візуалізації течії у трубі. Використання контурів для відображення розподілу напруги. Контурні графіки для відображення скалярних величин на границі моделі. Налаштування параметрів для побудови контурних графіків. Використання ізоповерхонь.
Тема 3.4. Знайомство з автоматизацією численного моделювання	
18.	Знайомство з автоматизацією чисельного моделювання Генератор коду. Автоматизація завдань і дій. Приклади.

Лабораторні роботи

№ з/п	Короткий зміст лабораторної роботи
1	Розробка математичної моделі електричного опору металевго дроту
2	Чисельний експеримент, візуалізація результатів, захист роботи 1
3	Розробка математичної моделі ємності конденсатора
4	Чисельний експеримент, візуалізація результатів, захист роботи 2
5	Розробка математичної моделі магнітного поля котушки Гельмгольца
6	Чисельний експеримент, візуалізація результатів, захист роботи 3
7	Розробка математичної моделі самоіндукції та взаємоіндукції одиночних провідників
8	Чисельний експеримент, візуалізація результатів, захист роботи 4
9	Розробка математичної моделі самоіндукції та взаємоіндукції провідника та спіральної котушки
10	Чисельний експеримент, візуалізація результатів, захист роботи 5
11	Розробка математичної моделі металевої сфери в магнітному низькочастотному полі
12	Чисельний експеримент, візуалізація результатів, захист роботи 6
13	Розробка математичної моделі трансформатору з феромагнітним осердям
14	Чисельний експеримент, візуалізація результатів, захист роботи 7
15	Розробка математичної моделі індукційного нагріву мідного циліндра
16	Чисельний експеримент, візуалізація результатів, захист роботи 8
17	Розробка математичної моделі силового кабелю
18	Чисельний експеримент, візуалізація результатів, захист роботи 9

6. Самостійна робота студента

№ з/п	Вид самостійної роботи
1	Підготовка до аудиторних занять
2	Проведення розрахунків в межах лабораторних робіт
3	Підготовка до МКР
4	Підготовка до заліку

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- **правила відвідування занять:** відповідно до Наказу 1-273 від 14.09.2020 р. заборонено оцінювати присутність або відсутність здобувача на аудиторному занятті, в тому числі нараховувати заохочувальні або штрафні бали. Відповідно до РСО даної дисципліни бали нараховують за відповідні види навчальної активності;
- **правила поведінки на заняттях:** студент має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних, практичних та лабораторних заняттях, передбачені РСО дисципліни. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача, в інтернеті, в дистанційному курсі на платформі Сікорський здійснюється за вказівкою викладача;
- **правила захисту лабораторних робіт:** лабораторна робота захищається індивідуально і за умови дотримання календарного плану виконання;
- **правила призначення заохочувальних балів:** заохочувальні не входять до основної шкали РСО, а їх сума не перевищує 10% стартової шкали. Заохочувальні бали нараховують за участь у наукових конференціях;

- **політика дедлайнів та перескладань:** несвоєчасний захист лабораторних робіт, несвоєчасне написання МКР (крім пропусків через хворобу при наданні довідки від лікаря) передбачають множення максимального балу за певний вид активності на коефіцієнт 0,75. Мінімальний бал не змінюється. Допускається одне перескладання кожної МКР за бажанням студента у встановлені строки. Перескладання захисту лабораторних робіт не передбачено;
- **політика щодо академічної доброчесності:** Кодекс честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» <https://kpi.ua/files/honorcode.pdf> встановлює загальні моральні принципи, правила етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності для осіб, що працюють і навчаються в університеті, якими вони мають керуватись у своїй діяльності, в тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з дисципліни;
- **при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем** (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соц. мережах тощо) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.

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

Поточний контроль: МКР, відповіді на заняттях, лабораторні роботи.

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Умови успішного проходження календарного контролю: повне виконання навчального плану дисципліни на дату контролю, що передбачає виконання і захист лабораторних робіт.

Семестровий контроль: екзамен.

Умови допуску до семестрового контролю: повне виконання навчального плану дисципліни, що передбачає виконання і захист всіх лабораторних робіт.

Загальна рейтингова оцінка студента після завершення семестру складається з балів, отриманих за:

- виконання МКР;
- відповідей на заняттях;
- виконання та захист 9 лабораторних робіт.
- виконання екзаменаційної роботи

№з/п	Контрольний захід	Макс. бал	Кільк.	Всього
1.	МКР	12	1	12
2.	Відповіді на заняттях	6	2	12
3.	Лабораторні роботи	4	9	36
4.	Екзамен	40	1	40
	РАЗОМ			100

Модульна контрольна робота

Максимальний бал за МКР – 12 балів, мінімальний – 12 балів * 60% = 7,2 балів.

Критерії оцінювання:

- вибір оптимального методу побудови математичної моделі, правильне виконання чисельного розрахунку, візуалізація результатів у повному об'ємі – (0,9..1) * 12 балів;
- правильні кроки побудови математичної моделі, несуттєві помилки у чисельних розрахунках чи у візуалізації результатів – (0,89..0,75) * 12 балів;

- правильні кроки побудови математичної моделі, суттєві помилки у чисельних розрахунках чи у візуалізації результатів – $(0,74..0,6) * 12$ балів;
- виконання роботи з принциповими помилками або відсутність значної частини математичної моделі, відсутність візуалізації результатів – 0 балів.

Виконання та захист лабораторних робіт

Ваговий бал – 4 (2 бали – оформлені результати у вигляді протоколу, 2 бали – захист роботи).

Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи – 4 бали * 9 = 36 балів.

Мінімальна кількість балів за всі лабораторні роботи (за умови їх повного виконання та захисту) –
4 балів * 9 * 60% = 21,6 балів.

Критерії оцінювання:

Результати числового експерименту на побудованій математичній моделі:

- відмінна підготовка до лабораторної роботи (знання мети роботи, знання основних теоретичних положень), активна участь у виконанні досліджень, правильна побудова математичної моделі та візуалізація результатів розрахунку у повному об'ємі – $(0,9..1) * 2$ бали;
- добра підготовка до лабораторної роботи, активна участь у виконанні досліджень, незначні помилки при чисельних розрахунках – $(0,89..0,75) * 2$ бали;
- задовільна підготовка до лабораторної роботи, пасивна участь у виконанні досліджень, суттєві помилки при чисельному розрахунку та візуалізації результатів – $(0,74..0,6) * 2$ бали;
- неготовність до лабораторної роботи, пасивна участь у виконанні досліджень, невірна побудова математичної моделі чи проведення чисельного експерименту – 0 балів.

Захист роботи:

- повні відповіді на теоретичні питання за темою роботи – $(0,9..1) * 2$ бали;
- неповні відповіді на теоретичні питання – $(0,89..0,75) * 2$ бали;
- часткові відповіді на теоретичні питання або відсутність відповідей на окремі питання, за умови розуміння загальної мети роботи та основних етапів проведення дослідження – $(0,74..0,6) * 2$ бали;
- невірні відповіді на більшість теоретичних питань за темою роботи – 0 балів.

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль зазначено у додатку 1 до силабусу

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено професором кафедри теоретичної електротехніки ФЕА, д.т.н. Щербою М.А.

Ухвалено кафедрою теоретичної електротехніки (протокол № 18 від 25.06.2025)

Погоджено Методичною комісією факультету електроенерготехніки та автоматики (протокол № 6 від 27.06.2025)

Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль

РОЗДІЛ 1. Розв'язання лінійних та нелінійних задач методом скінчених елементів

Тема 1.1. Вирішення стаціонарних лінійних задач

1. Вирішення лінійних стаціонарних задач за допомогою методу скінчених елементів.
2. Розв'язання лінійних систем рівнянь: прямий та ітераційний вирішувачі

Тема 1.2. Вирішення стаціонарних нелінійних задач

3. Вирішення стаціонарних нелінійних задач методом кінцевих елементів
4. Розпізнавання та розв'язок сингулярностей при моделюванні методом кінцевих елементів

Тема 1.3. Нарощування навантаження та підвищення ступеня нелінійності і їх вплив на збіжність нелінійних задач

5. Нарощування навантаження у нелінійних задачах
6. Підвищення ступеня нелінійності як спосіб покращення збіжності нелінійних задач
7. Поєднання рішень для параметричних досліджень, розрахунків на власні частоти та у часовій області
8. Переваги використання слабкої форми рівнянь
9. Оцінка необхідного об'єму та оптимізація пам'яті для розрахунку великих математичних моделей

РОЗДІЛ 2. Основні етапи побудови математичної моделі

Тема 2.1. Створення CAD-геометрії об'єкту

10. Геометричні ядра
11. Принцип побудови розрахункової сітки для лінійних стаціонарних задач. Використання елементів різних типів

Тема 2.2. Побудова та оптимізація розрахункової сітки скінчених елементів

12. Використання адаптивного згущення сітки для уточнення рішення у певній області моделі. Параметри, що регулюють розмір вільної тетраедричної сітки
13. Розбиття сітки для нелінійних статичних скінченно-елементних задач

РОЗДІЛ 3. Особливості вирішення мультифізичних задач

Тема 3.1. Підбір апроксимуючої кривої для масиву даних. Методи обчислення інтегралів за часом та простором

14. Підбір апроксимуючої кривої для експериментальних даних
15. Огляд методів обчислення інтегралів за часом та простором

Тема 3.2. Приклади вирішення мультифізичних завдань, поліпшення їх збіжності

16. Рішення мультифізичних задач та поліпшення їх збіжності

Тема 3.3. Візуалізація результатів чисельного експерименту

17. Графіки скалярного поля, об'ємні та лінійні графіки. Візуалізація результатів у поперечних перерізах. Візуалізація хвильових процесів за допомогою контурних графіків та графіків із поверхонь

Тема 3.4. Знайомство з автоматизацією численного моделювання

18. Знайомство з автоматизацією чисельного моделювання