



Силабус освітнього компонента Програма навчальної дисципліни



Дослідження зв'язаних фізико-механічних процесів у сучасних САПР

Шифр та назва спеціальності

G9 – Прикладна механіка

Спеціалізація**Освітня програма**

Моделювання технічних систем

Рівень освіти

Другий (магістерський)

Семестр

3

Інститут

ННІ Механічної інженерії і транспорту

Кафедра

Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин (151)

Тип дисципліни

Спеціальна (фахова) підготовка

Форма навчання

Денна, заочна

Мова викладання

Українська

Викладачі, розробники

**Грабовський Андрій Володимирович**

andrey.grabovskiy@khpi.edu.ua

докт. техн. наук, професор

Доктор технічних наук, провідний науковий співробітник кафедри теорії і системи автоматизованого проектування механізмів і машин НТУ «ХПІ». Досвід роботи – 16 років. Автор понад 200 наукових та навчально-методичних праць. Провідний лектор з дисциплін: «Комп'ютерне проектування складних механічних систем», «Динаміка механічних систем».

[Детальніше про викладача на сайті кафедри](#)

Загальна інформація

Анотація

Дисципліна «Дослідження зв'язаних фізико-механічних процесів у сучасних САПР» спрямована на узагальнення та поглиблення знань, отриманих під час вивчення курсів з комп'ютерного проектування та скінченно-елементного моделювання. Її метою є ознайомлення студентів із сучасними методами, засобами та підходами до моделювання і розробки складних машинобудівних конструкцій.

Мета та цілі дисципліни

Дисципліна «Дослідження зв'язаних фізико-механічних процесів у сучасних САПР» спрямована на надання студентам знань із комп'ютерного проектування складних механічних об'єктів і систем, а також ознайомлення з сучасним програмним забезпеченням. Вона присвячена

вдосконаленню та поглибленню сучасних методів, що застосовуються під час проектування складних машинобудівних конструкцій.

Формат занять

Лекції, практичні заняття, самостійна робота, консультації. Підсумковий контроль – залік.

Компетентності

Інтегральна компетентність:

Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми у прикладній механіці або у процесі навчання, що передбачає проведення досліджень та/або здійснення інновацій та характеризується невизначеністю умов і вимог

Загальні компетентності ЗК:

ЗК1. Здатність виявляти, ставити та вирішувати інженерно-технічні та науково-прикладні проблеми.

ЗК3. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

ЗК5. Здатність спілкуватися з представниками інших професійних груп різного рівня (з експертами з інших галузей знань/видів економічної діяльності).

ЗК6. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

Фахові компетентності спеціальності (ФК):

ФК1. Здатність застосовувати відповідні методи і ресурси сучасної інженерії для знаходження оптимальних рішень широкого кола інженерних задач із застосуванням сучасних підходів, методів прогнозування, інформаційних технологій та з урахуванням наявних обмежень за умов неповної інформації та суперечливих вимог.

ФК2. Здатність описати, класифікувати та змодельовувати широке коло технічних об'єктів та процесів, що ґрунтується на глибокому знанні та розумінні теорій та практик механічної інженерії, а також знаннях суміжних наук.

ФК5. Здатність планувати і виконувати експериментальні й теоретичні дослідження з прикладної механіки та дотичних міждисциплінарних проблем, опрацьовувати і узагальнювати результати досліджень.

ФК6. Застосування відповідних методів і ресурсів сучасної інженерії на основі інформаційних технологій для вирішення широкого кола інженерних задач із застосуванням новітніх підходів, методів прогнозування з усвідомленням інваріантності розв'язків.

ФК7. Здатність генерувати нові ідеї та уміння обґрунтування нових інноваційних проектів та просування їх на ринку.

Результати навчання

РН1. Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання новітніх методів та методик проектування, аналізу і дослідження конструкцій, машин та/або процесів в галузі машинобудування та суміжних галузях знань.

РН2. Розробляти і ставити на виробництво нові види продукції, зокрема виконувати дослідно-конструкторські роботи та/або розробляти технологічне забезпечення процесу їх виготовлення.

РН3. Застосовувати системи автоматизації для виконання досліджень, проектно-конструкторських робіт, технологічної підготовки та інженерного аналізу в машинобудуванні.

РН4. Використовувати сучасні методи оптимізації параметрів технічних систем засобами системного аналізу, математичного та комп'ютерного моделювання, зокрема за умов неповної та суперечливої інформації.

РН5. Самостійно ставити та розв'язувати задачі інноваційного характеру, аргументувати і захищати отримані результати та прийняті рішення.

РН11. Планувати і виконувати експериментальні і теоретичні дослідження у сфері прикладної механіки, аналізувати їх результати, обґрунтовувати висновки.

РН12. Вміти виконувати моделювання, статичний та динамічний аналізи конструкцій, механізмів, матеріалів та процесів на стадії проектування з використанням сучасних комп'ютерних систем.

Обсяг дисципліни

Загальний обсяг дисципліни 120 год. (4 кредитів ECTS): лекції – 32 год., практичні роботи – 16 год., самостійна робота – 72 год.

Передумови вивчення дисципліни (пререквізити)

Для успішного проходження курсу необхідно мати знання та практичні навички з наступних дисциплін: «Лінійна алгебра», «Фізика», «Дискретна математика», «Моделювання складних систем», «Основи теоретичної та прикладної механіки», «Основи проектування машин», «Чисельні методи», «Прикладна теорія пружності», «Основи автоматизованого проектування», «Технологія комп'ютерного проектування», «Програмні комплекси аналізу та проектування», «Моделювання об'єктів і процесів в комп'ютерних системах».

Особливості дисципліни, методи та технології навчання

Лекції проводяться інтерактивно з використанням мультимедійних технологій. На практичних заняттях використовуються покрокові матеріали для виконання розрахунку. Навчальні матеріали доступні студентам через Google Drive.

Програма навчальної дисципліни

Навчальні заняття

Лекції

Теми лекцій	Кількість годин
Тема 1. Зв'язки та віддалені граничні умови Контакт. Елементи керування контактами. Контактні результати. Точкове зварювання. Мешз'єднання. Аркуш з'єднань. Суглоби. Пружини та балки. Визначення. Віддалені точки. Контроль поведінки. Управління Pinball. Спільне використання віддаленої точки. Параметри відображення. Додаток 01. Конфігурація суглобів, зупинки та блокування. Додаток 02. Обмежувальні рівняння.	2
Тема 2. Аналіз втрати стійкості та підмоделювання Eigenvalue Buckling. Огляд. Геометрія Eigenvalue Buckling та властивості матеріалу. Контакт Eigenvalue Buckling. Навантаження та обмеження Eigenvalue Buckling. Eigenvalue Buckling Рішення. Результати Eigenvalue Buckling. Підмоделювання. Огляд. Процедура аналізу підмоделювання.	2
Тема 3. Огляд ANSYS DesignXplorer Що є DesignXplorer? DX Features. В чому задача. Sensitivity / Correlation Analysis. Design of Experiments. Response Surface. Optimization. Six Sigma Analysis. Workbench Power. Огляд проекту. Параметри. Параметризація розмірів CAD. Параметризація розмірів WB, граничні умови тощо. Похідні параметри. Parameter Set. Інтерфейс користувача DX. Єдина звітність. Резюме.	2
Тема 4. Parameters Correlation Parameters Correlation. Призначення. Відбір проб. Correlation Coefficient Formulation. Результати фільтрації відповідності. Relevance Filtering налаштування. Correlation Matrix і Plot. Determination Matrix і Plot. Correlation Scatter. Additional Plots. Parameters Correlation. Формулювання коефіцієнта кореляції. Pearson vs Spearman. Determination Correlation (Quadratic). Sensitivity.	2
Тема 5. Design of Experiments (DOE) DOE призначення та схеми. Central Composite Design (CCD). Box-Behnken Design. Latin Hypercube Sampling Design. Optimal Space Filling. Custom / Custom + Sampling. Sparse Grid Initialization. Additional Settings. Manufacturable Values. Update Order. Extension. Резюме. Додаток. Термінологія. CCD.	2

Тема 6. Поверхня відгуку у DesignXplorer	2
Response Surface. Визначення. Термінологія. Response Surface Types. Standard Full 2nd Order Polynomials. Kriging. Kriging Refinement. Non-parametric Regression. NPR vs Kriging. Neural Network. Sparse Grid. Goodness of fit table. Goodness of fit chart. Verification Points. Refinement Points. Response Surface Results. Резюме. Додаток. Показники відповідності. Non-Parametric regression (NPR). Neural Network. Sparse Grid Iteration Procedure.	
Тема 7. Оптимізація у DesignXplorer	2
Optimization. Optimization Domain. Objectives та Constraints. Методи оптимізації. Screening. MOGA. NLPQL. MISQP. Adaptive Single-Objective. Конвергенція. Convergence Monitoring. Raw Optimization Data. Optimization Candidates. Подальша обробка. Additional Points. Резюме. Практика Опис проблеми. Додаток. Рейтинг Candidates. Налаштування оптимізації.	
Тема 8. Топологічна оптимізація у ANSYS	2
Геометрія для топологічної оптимізації. Характеристики матеріалу. Граничні умови. Згладжування геометрії.	
Тема 9. Граничні умови та стаціонарний термічний аналіз	2
Термічні граничні умови. Непостійні граничні умови. Налаштування рішення. Теорія стаціонарного стану. Налаштування моделі. Приклад стаціонарного стану. Багатоетапні рішення..	
Тема 10. Нелінійний і перехідний термічний аналіз	2
Нелінійна теорія. Налаштування нелінійного рішення. Відгук про рішення. Перехідна теорія. Крок у часі. Перехідне навантаження. Перехідна постобробка. Зміна фази.	
Тема 11. APDL і Commands Objects	2
Вступ до мови параметричного проектування ANSYS. Розширення АСТ для термічного аналізу. Мова команд APDL. Використання командних об'єктів. Named Selections. Перегляд вхідного файлу. Демонстрація – модель радіаційного ребра з командними об'єктами.	
Тема 12. Поєднаний теплоструктурний аналіз	2
Що таке аналіз поєднаних полів. Термоструктурний аналіз зчеплення. Поєднаний Багатоетапний аналіз. Поєднання за допомогою різнорідних сіток. Подальша обробка результатів.	
Тема 13. Аналіз втоми	2
Огляд втоми. Навантаження постійної амплітуди. Пропорційне навантаження. Визначення напружень. Резюме.	
Тема 14. Stress-Life: Основна процедура	2
Геометрія. Криві Stress-Life. Втоми властивості матеріалу. Контактні регіони. Навантаження та опори. Запит на результати. Тип навантаження. Ефекти середніх напружень. Фактор міцності. Компоненти напружень. Вирішення аналізу втоми. Перегляд результатів втоми. Резюме.	
Тема 15. Stress-Life: змінна амплітуда	2
Історія нерегулярних навантажень і цикли. Процедура змінної амплітуди. Визначення типу навантаження. Визначення нескінченної працездатності. Визначення розміру контейнера. Швидкий підрахунок. Вирішення випадку змінної амплітуди. Перегляд результатів втоми. StressLife: непропорційний випадок. Непропорційна процедура. Приклад моделі.	
Тема 16. Strain-Life: Основна процедура	2
Параметри деформації. Витрачений ресурс матеріалу. Параметри аналізу. Корекція середніх напружень. Перегляд результатів втоми.	

Загальна кількість годин	32
--------------------------	----

Практичні заняття

Не передбачені в цьому курсі

Лабораторні заняття

Теми практичних/семінарських занять	Кількість годин	Вагові коефіцієнти a
Тема 1. Рівняння зв'язку	1	0,5
Тема 2. Підмоделювання	1	0,5
Тема 3. Фазовий перехід	1	0,5
Тема 4. Чашка кави	1	0,5
Тема 5. Випромінювання від поверхні до поверхні	1	1
Тема 6. Багатокроковий аналіз	1	1
Тема 7. Основи роботи у DX	1	0,5
Тема 8. Дослідження «Що, якщо»	1	1
Тема 9. Parameter Correlation на балці	1	1
Тема 10. Design of Experiments	1	1
Тема 11. Response Surface Optimization	1	1
Тема 12. Response Surface Optimization (Cylindrical Support)	1	1
Тема 13. Direct Optimization (Steel Sheet Triangle)	1	1
Тема 14. Топологічна оптимізація	1	1
Тема 15. Підхід до Stress-Life	1	1
Тема 16. Strain-Life підхід	1	1
Загальна кількість годин	16	$\sum_{i=1}^n a_i = 13,5$

Контрольні роботи

Теми контрольних робіт	Вагові коефіцієнти b
Тема 1. Моделювання термопружних процесів у машинобудівних конструкціях	1
Тема 2. Виконати задачу оптимізації кріплення	1
Загалом	$\sum_{i=1}^m b_i = 2$

Самостійна робота

Опрацювання теоретичного матеріалу

Теми для самостійного вивчення	Кількість годин
Тема 1. Модальний, тепловий та багатокроковий аналіз	18

Модальний аналіз. Модальна теорія та припущення. Модальна геометрія та властивості матеріалу. Модальний контакт. Модальне рішення. Модальні результати. Модальний аналіз із попередніми навантаженнями. Стаціонарний термічний аналіз. Теплова геометрія та властивості матеріалу. Тепловий контакт. Термічні граничні умови. Термічний розрахунок. Термічні результати. Багатокроковий аналіз. Багатокрокове налаштування. Багатокрокове керування. Багатокрокові навантаження. Багатокрокова постобробка. Комбінації розрахунків. Виконати практичне завдання: Контроль зсуву контакту
Виконати практичне завдання: Суглоби
Виконати практичне завдання: Віддалені граничні умови
Виконати практичне завдання: Модальний аналіз рами машини
Виконати практичне завдання: Eigenvalue Buckling

Тема 2. Six Sigma у DesignXplorer

6

Six Sigma Analysis. Що це таке? Приклад. Процедура.
Виконати практичне завдання: 6-sigma analysis

Тема 3. Кращі практики у DesignXplorer

6

Design of Experiments. Response Surface. Response Surface Optimization. Direct Optimization.

Виконати практичне завдання: Parameter Correlation

Виконати практичне завдання: Sparse Grid Method

Тема 4. Основи та попередня обробка стаціонарного термічного аналізу

34

ANSYS Customer Portal. Символи та умовні позначення. Основи теплообміну. Характеристики FEA Thermal Solutions. Граничні умови. Порівняння теплової і структурної задачі. Engineering Data. Geometry Types. Thermal Elements. Thermal Contact. Сітка.

Виконати практичне завдання: Термічний аналіз корпусу насоса

Виконати практичне завдання: Термальний стрижень

Виконати практичне завдання: Нагрівальна спіраль

Виконати практичне завдання: Температурний контакт

Виконати практичне завдання: Випромінювання в системі

Виконати практичне завдання: Соленоїд

Виконати практичне завдання: Паяльник

Виконати практичне завдання: Дослідження охолоджувача

Виконати практичне завдання: Тепловий елемент рідини FLUID116

Виконати практичне завдання: Елемент пов'язаного поля SOLID226

Тема 5. Аналіз втомної міцності

8

Теоретичні відомості з втомної міцності. Крива Веллера. Характеристики матеріалів.

Загальна кількість годин

72

Тематика індивідуальних завдань

Розрахунково-графічна робота виконується впродовж семестру і здається до залікового тижня. Тема вибирається студентом із наведених нижче.

Теми індивідуального завдання

Тема 1. Дослідити теплові поля в конструкції.

Тема 2. Оптимізувати за вагою елемент машинобудівної конструкції

Тема 3. Виконати дослідження втомної міцності машинобудівної конструкції

Неформальна освіта

Здобувач має можливість перезарахувати окремі теми або курс шляхом: проходження професійних курсів чи тренінгів, онлайн-освіти, професійних стажувань, у сфері, що відповідає навчальним цілям дисципліни.

Для зарахування необхідно надати: сертифікат (електронний або друкований) про проходження курсу/стажування, опис програми тренінгу із зазначенням змісту тем, обсягу та тривалості

Рекомендовані курси, тренінги, стажування

1. Офіційні курси від компанії ANSYS

<https://www.ansys.com/services/ansys-learning-hub>

Література, навчальні матеріали та інформаційні ресурси

Основна література

1. Карвацький, А. Я. Метод скінченних елементів у задачах механіки суцільних середовищ. Лабораторний практикум з навчальної дисципліни. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2018. – 392 с.
2. Розв'язок задач проектування приладів та систем з використанням ANSYS і MATHCAD : підручник / І. А. Гришанова, Л. П. Згуровська, Ю. В. Киричук. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2022. – 180 с
3. Трач В.М., Подворний А.В. Опір матеріалів (спеціальний курс), теорія пружності та пластичності. – Київ: Каравела. – 2016. – 434 с.
4. Robert L. Norton. Machine Design: An Integrated Approach 4th Edition. – Pearson. – 2010. – 1056 p.
5. Ioannis Koutromanos. Fundamentals of Finite Element Analysis: Linear Finite Element Analysis 1st Edition. – Wiley. – 2018. – 736 p.

Додаткова література

1. Деревенько І.А., Сивак Р.І. Короткий курс опору матеріалів. – Вінниця: ВНАУ. – 2020. – 308 с.
2. Дубенець В.Г., Хільчевський В.В., Савченко О.В. Основи методу скінченних елементів: навчальний посібник. – Чернівці: ЧДТУ. – 2007. – 287с.

Інформаційні ресурси

1. Довідка з програми ANSYS
2. Курс лекцій та практикумів компанії ANSYS.

Система оцінювання

Підсумкова оцінка з освітнього компонента визначається відповідальним лектором за темами, видами занять, тощо у відповідності до силабусу і є інтегральною оцінкою результатів усіх вид навчальної діяльності здобувача вищої освіти. Підсумкова оцінка повинна відображати всі оцінки за складовими навчального процесу з урахуванням їх вагових показників k :

Поточний контроль (практичні, семінарські, лабораторні заняття), k_1	Контрольні роботи (за наявності), k_2	Індивідуальне завдання (за наявності), k_3	Підсумковий контроль (для ОК з іспитом), k_4
0,4	0,3	0,2	0,1

Сума коефіцієнтів повинна складати одиницю: $k_1 + k_2 + k_3 + k_4 = 1$. Підбір вагових коефіцієнтів підсумкової оцінки здійснює розробник курсу.

Розрахунок підсумкової оцінки проводиться за формулою:

Дослідження зв'язаних фізико-механічних процесів у сучасних САПР



Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

$$O = P \cdot k_1 + K \cdot k_2 + I \cdot k_3 + P_k \cdot k_4$$

де: P – середньозважена середня оцінка за поточний контроль
 I – оцінка за виконання індивідуального завдання
 K – середньозважена оцінка за контрольні роботи
 P_k – оцінка за підсумковий контроль

$$P = \frac{P_1 \cdot a_1 + P_2 \cdot a_2 + \dots + P_n \cdot a_n}{\sum_{i=1}^n a_i}$$

де: a_i - ваговий коефіцієнт за кожне практичне (семінарське) або лабораторне заняття.

$$K = \frac{K_1 \cdot b_1 + K_2 \cdot b_2 + \dots + K_m \cdot b_m}{\sum_{i=1}^m b_i}$$

де: b_i - ваговий коефіцієнт за кожну контрольну роботу.

Поточні оцінки за кожну складову ($P, K, I, \dots$) виставляються за 100-бальною шкалою згідно з положенням «Про критерії та систему оцінювання знань та вмінь і про рейтинг здобувачів вищої освіти» НТУ «ХПІ».

Підсумкова оцінка виставляється відповідно до розрахованої O з округленням до найближчого цілого числа в більшу сторону.

Шкала оцінювання

Сума балів	Національна оцінка	ECTS
90–100	Відмінно	A
82–89	Добре	B
75–81	Добре	C
64–74	Задовільно	D
60–63	Задовільно	E
35–59	Незадовільно (потрібне додаткове вивчення)	FX
1–34	Незадовільно (потрібне повторне вивчення)	F

Норми академічної етики і політика курсу

Здобувач вищої освіти повинен дотримуватися «Кодексу етики академічних взаємовідносин та доброчесності НТУ «ХПІ»: виявляти дисциплінованість, вихованість, доброзичливість, чесність, відповідальність. Конфліктні ситуації повинні відкрито обговорюватися в навчальних групах з викладачем, а при неможливості вирішення конфлікту – доводитися до відома співробітників дирекції інституту.

Нормативно-правове забезпечення впровадження принципів академічної доброчесності НТУ «ХПІ» розміщено на сайті: <http://blogs.kpi.kharkov.ua/v2/nv/akademichna-dobrochesnist/>

Погодження

Силабус погоджено

30.08.2025



Завідувач кафедри

Олександр УСТИНЕНКО

30.08.2025

Гарант ОП

Анатолій ГАЙДАКА