



Силабус освітнього компонента Програма навчальної дисципліни



Комп'ютерне дослідження механічних систем

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 «Комп'ютерне дослідження механічних систем» спрямована на узагальнення та поглиблення знань, отриманих під час вивчення курсів із комп'ютерного проектування та скінченно-елементного моделювання. Курс охоплює сучасні методи дослідження та аналізу механічних систем із використанням програмних комплексів інженерного моделювання. Студенти набувають практичних навичок побудови, дослідження та оптимізації тривимірних моделей конструкцій. Особлива увага приділяється моделюванню напружено-деформованого стану, динамічних процесів і взаємодії елементів складних машинобудівних систем. Дисципліна покликана сформувати в студентів розуміння сучасних засобів і підходів до розробки ефективних інженерних рішень у галузі машинобудування.

Мета та цілі дисципліни

Мета дисципліни — надання студентам знань із комп'ютерного проектування складних механічних об'єктів і систем, а також ознайомлення з сучасними програмними засобами для інженерного моделювання. Дисципліна **«Комп'ютерне дослідження механічних систем»** спрямована на вдосконалення знань і навичок, отриманих під час вивчення курсів із комп'ютерного проектування та скінченно-елементного аналізу. У процесі навчання розглядаються сучасні методи дослідження напружено-деформованого стану, динамічних і теплових процесів у складних конструкціях. Студенти опановують інструменти побудови, дослідження та оптимізації тривимірних моделей механічних систем. Значна увага приділяється інтеграції розрахункових методів у процес проектування й оцінювання надійності машинобудівних елементів. Курс сприяє формуванню у студентів практичних компетентностей для ефективного використання сучасних цифрових технологій у галузі машинобудування.

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 змодельовати 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. Огляд та процедура виконання задач структурної нелінійності Що таке нелінійна поведінка? Типи нелінійностей. Нелінійне рішення за допомогою LinearSolvers. Проблеми нелінійного FEA. Побудова нелінійної моделі. Отримання нелінійного розв'язку.	2
Тема 2. Введення в контакт Основні поняття. Contact Formulations. Detection Methods. Trim Contact. Penetration Tolerance. Contact Stiffness. Pinball Region. Symmetric та Asymmetric. Типи тіл в контакті. Постобробка результатів в контакті.	2
Тема 3. Оцінка незалежної пластичності Довідкова інформація про еластичність та пластичність. Yield Criteria. Правило потоку. Правила зміцнення. Введення даних про матеріал. Analysis Settings. Перегляд результатів. Резюме.	2
Тема 4. Огляд з'єднань у нелінійному аналізі Загальний огляд Contact Technology. Auto Detection Options. Використання Contact Tool. Joints. Springs та Beams. Spot Welds. Connections Worksheet.	2
Тема 5. Обробка інтерфейсу Rigid Body Motion. Contact Surface Offset. Contact Stabilization Damping. MPC Formulation. Time Step Controls. Frictional Contact.	2
Тема 6. Болтове з'єднання	2

Опис проблеми. Визначення опцій. Application Notes. Joint Technology Option.
Bolt Thread Modeling.

Тема 7. Моделювання прокладок	2
Передумови для моделювання тіл прокладок. Gasket Bodies. Mesh Control. Material Properties. Подальша обробка отриманих результатів.	
Тема 8. Моделювання загального контакту	2
Огляд Pair-Based Contact. Вступ у General Contact. Процедура для General Contact. Diagnostic Tools для General Contact.	
Тема 9. Розширений аналіз для нелінійних матеріалів	2
Огляд Linear Kinematic Hardening. Nonlinear Kinematic Hardening. The Chaboche Model. Визначення властивостей матеріалу. Ratcheting та Shakedown. Визначення Chaboche Coefficients.	
	2
Тема 10. Швидкість повзучості	2
Огляд Creep. Визначення та термінологія. Загальні рівняння Creep. Доступні моделі Creep. Визначення Material Data. Analysis Settings для Creep. Перегляд результатів Creep.	
Тема 11. Повзучість з пластичністю	2
Chaboche Metal Plasticity з повзучістю. Огляд Nonlinear Kinematic Hardening. Огляд Ratchetting & Shakedown. Огляд Creep. Комбінація Chaboche-Creep. Chaboche Curve fitting у Engineering Data. Chaboche Curve fitting у MAPDL.	
Тема 12. В'язкопластичність з моделлю ANAND	2
Довідкова інформація про в'язкопластичність. Модель ANAND. Визначення характеристики матеріалу. Analysis Settings для в'язкопластичності. Перегляд результатів в'язкопластики.	
Тема 13. Гіпереластичність	2
Довідкова інформація про еластомери. Вступ до теорії гіперпружності. Доступні моделі. Mixed u-P Формулювання. Процедура Curve fitting. Analysis Settings. Запуск рішення.	
Тема 14. Гіпереластичність	2
Особливі форми W. Вказівки щодо поліноміальної форми. Модель Муні-Рівліна. Yeoh Модель. Неогукіанська форма. Модель Арруда-Бойса. Модель Гента. Модель Огдена. Модель Огдена зі стисненої піни. Модель Blatz-Ko. Міркування щодо нестисливості. Коефіцієнт Пуассона.	
Тема 15. В'язкопружність	2
Підґрунтя теорії в'язкопружності. Функція ряду Проні. Поведінка TRS. Функції зсуву. Приклади. Визначення властивостей матеріалу. Analysis Settings для моделей в'язкопружності.	
Тема 16. Розширені моделі	2
Ефект Маллінза. Анізотропна гіперпружність. Гіпереластичність Бергстрома-Бойса. Сплав з пам'яттю форми.	
Загальна кількість годин	32

Практичні заняття

Теми практичних/семінарських занять	Кількість годин	Вагові коефіцієнти α
Тема 1. Оболонковий диск	1	0,5

Тема 2. Великий прогин	1	0,5
Тема 3. Контактна жорсткість та проникнення	1	0,5
Тема 4. Моделювання контакту з тертям	1	0,5
Тема 5. Болтове з'єднання	1	1
Тема 6. Моделювання нелінійних прокладок	1	1
Тема 7. Обмеження максимальних дотичних напружень	1	0,5
Тема 8. Проникнення під тиском рідини	1	1
Тема 9. Archard Wear	1	1
Тема 10. Моделювання ефекту Шабаше	1	1
Тема 11. Релаксація напружень	1	1
Тема 12. Підгонка кривої гіпереластичного матеріалу	1	1
Тема 13. Дослідження в'язкопружного матеріалу	1	1
Тема 14. Ефект Маллінза	1	1
Тема 15. Гістерезис при навантаженні одновісного розтягу	1	1
Тема 16. Permanent Set ущільнювального кільця	1	1
Загальна кількість годин	16	$\sum_{i=1}^n a_i = 13,5$

Лабораторні заняття

Не передбачені в цьому курсі

Контрольні роботи

Теми контрольних робіт	Вагові коефіцієнти b
Тема 1. Моделювання фланцевого з'єднання з ущільненням	1
Тема 2. Дослідження конструкції із нелінійного матеріалу	1
Загалом	$\sum_{i=1}^m b_i = 2$

Самостійна робота

Опрацювання теоретичного матеріалу

Теми для самостійного вивчення	Кількість годин
Тема 1. Restart та Nonlinear Controls при вирішенні нелінійних задач Restart Controls. Процес Ньютона-Пафсона. Force Convergence. Moment Convergence. Displacement/Rotation Convergence. Line Search. Stabilization. Перегляд нелінійних результатів. Виконати практичне завдання: Restart Controls	4
Тема 2. Аналіз вигину (втрата стійкості) та лінійних збурень Довідкова інформація щодо структурної стабільності. Лінійна (власне значення) процедура вигину. Довідкова інформація про методи нелінійного вигину. Нелінійна стабілізація. Резюме. Виконати практичне завдання: Line Search	6
Тема 3. Нелінійна діагностика	6

Solver Output. Моніторинг Solution. Залишки Ньютона-Рафсона. Приклади випадків. Поради щодо вирішення моделі. Резюме.
Виконати практичне завдання: Симетричний та асиметричний контакт
Виконати практичне завдання: Лінійна втрата стійкості

Тема 4. Нелінійна адаптивна сітка 10

Передумови перезонування. Вступ до сітчастої нелінійної адаптивності.
Розуміння критеріїв: Energy Based, Position Based, Contact Based, Mesh-Quality Based. Процедура. Приклад 3D нелінійної адаптивності. Обмеження нелінійної адаптивності.
Виконати практичне завдання: Пластичність металу
Виконати практичне завдання: Втрата стійкості зі стабілізацією

Тема 5. Додаткові функції через MAPDL 20

Передумови. Документація. MAPDL Command Синтаксис. Процедура.
Приклад застосування: Frictional Shear Stress Limit. Приклад застосування: Fluid Pressure Penetration. Приклад застосування: Contact Surface Wear.
Виконати практичне завдання: Інструменти діагностики для контакт
Виконати практичне завдання: Автоматичне визначення контактних пар
Виконати практичне завдання: Інструмент Connections Worksheet

Тема 15. Елементні технології для нелінійних матеріалів 26

Conventional Displacement Formulation. Shear and Volumetric Locking. Selective Reduced Integration (B-bar). Uniform Reduced Integration (URI). Enhanced Strain (ES). Simplified Enhanced Strain (SES). Mixed u-P Formulation. Висновки.
Виконати практичне завдання: Interference Fit
Виконати практичне завдання: Contact Stabilization Damping
Виконати практичне завдання: 2D Frictional Seal

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. Дослідження фланцевого з'єднання з ущільнювачем. Вибір схеми розташування болтів.

Тема 2. Дослідження конструкції з урахуванням пластичності з текучістю

Тема 3. Дослідження конструкції із гіперпружного матеріалу

Загальна кількість годин 16

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. – Чернігів: 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 видів 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:

$$O = \Pi \cdot k_1 + K \cdot k_2 + I \cdot k_3 + \Pi_k \cdot k_4$$

де: Π – середньозважена середня оцінка за поточний контроль

I – оцінка за виконання індивідуального завдання

K – середньозважена оцінка за контрольні роботи

Π_k – оцінка за підсумковий контроль

$$\Pi = \frac{\Pi_1 \cdot a_1 + \Pi_2 \cdot a_2 + \dots + \Pi_n \cdot a_n}{\sum_{i=1}^n a_i}$$

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 (П, К, І, ...) 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