

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

ЗАТВЕРДЖУЮ  
 Декан факультету інженерії,  
 транспорту та архітектури

  
 Олег ПОЛІЩУК  
 “ 4 ” 09 2024 р.



**СІЛАБУС**

Навчальна дисципліна **Моделювання технологічних процесів автомобільного транспорту**  
 Освітньо-професійна програма **Автомобільний транспорт**  
 Рівень вищої освіти **перший (бакалаврат)**

**Загальна інформація**

Позиція	Зміст інформації
Викладач(і)	Рудик Олександр Юхимович
Профайл викладача	<a href="https://tam.khmnmu.edu.ua/vykladatskyj-sklad/">https://tam.khmnmu.edu.ua/vykladatskyj-sklad/</a>
Е-mail викладач(ів)	<a href="mailto:yuhymovych@gmail.com">yuhymovych@gmail.com</a>
Контактний телефон	Заповнюється за домовленістю
Сторінка дисципліни в ІСУ	<a href="https://msn.khmnmu.edu.ua/course/view.php?id=7065">https://msn.khmnmu.edu.ua/course/view.php?id=7065</a>
Навчальний рік	2024-2025
Консультації	<b>Очні:</b> четвер, 3-а пара, 4-304; <b>он-лайн:</b> за необхідністю та попередньою домовленістю

**Характеристика дисципліни**

Статус дисципліни	Форма навчання	Курс	Семестр	Загальний обсяг		Кількість годин						Курсовий проект	Курсова робота	Форма семестрового контролю	
				Кредити ЄКТС	Години	Аудиторні заняття				Індивідуальна робота студента	Самостійна робота, в т.ч. ІРС			залік	іспит
						Разом	Лекції	Лабораторні роботи	Практичні заняття						
ОПП	Д	4	7	5	150	68	34	34			82			+	
ОПП	З	4	7	5	150	10	6	4			140			+	

**Анотація дисципліни**

Навчальна дисципліна «Моделювання технологічних процесів підприємств автомобільного транспорту» є обов'язковою складовою фахової підготовки здобувачів вищої освіти для спец. 274 «Автомобільний транспорт» (бакалавр). Студент, який успішно завершив вивчення дисципліни, повинен: вміло використовувати понятійний апарат з фаху; розуміти структуру й динаміку технологічних процесів автотранспортних підприємств; уміти використовувати чисельні методи розв'язку статичних і динамічних задач механіки твердого тіла; працювати з пакетом прикладних програм для плоского й твердотілого моделювання SolidWorks; володіти інженерними розрахунками твердотільних моделей на міцність у машинобудуванні (SolidWorks Simulation і Ansys Workbench). Основна увага приділяється теорії й практичному використанню методів скінченних елементів (МСЕ) та набуття навичок у проектуванні та розрахунках деталей і вузлів автомобільного транспорту (АТ), а також пристосувань для їх ремонту.

**Пререквізити** – вступ до спеціальності, інформатика; інженерна та комп’ютерна графіка; деталі машин; автомобілі; інформаційні технології на автомобільному транспорті, автомобільні двигуни; **кореквізити** – кваліфікаційна робота (дипломна робота).

### Мета і завдання дисципліни

**Мета дисципліни.** Дати уявлення про основи чисельних методів розв’язку статичних і динамічних задач механіки твердого тіла, а також про алгоритми та особливості чисельної реалізації даних методів; навчити застосовувати наближені методи для вирішення конкретних задач, які виникають в науково-технічній практиці; оволодіти навичками використання систем автоматизованого проектування в області технологічних процесів автотранспортних підприємств (SolidWorks Simulation, Ansys Workbench).

**Завдання дисципліни.** Необхідно сформулювати основні принципи та положення автоматизованого проектування в області комп’ютерного моделювання деталей, вузлів та агрегатів транспортних засобів, а також імітації різних режимів їх натурних випробувань та умов експлуатації у середовищах SolidWorks Simulation (SWS) і Ansys Workbench. Обов’язковими елементами досліджень у SolidWorks є: статичний аналіз моделі і процес створення сітки МСЕ; можливість заміни матеріалу деталі; аналіз напруженого стану моделі для економії її матеріалу; зондування напружень у критичних точках; втомна міцність у небезпечному перерізі; можлива втрата стійкості; максимальне навантаження (з допущенням лінійного статичного аналізу), яке здатна витримати змодельована деталь (без її руйнування) при заданому коефіцієнті запасу міцності; вплив кріплень на працездатність деталей, якості сітки на точність розрахунків, зміни напрямку навантаження на стійкість деталей, варіації розмірів окремих елементів деталі на коефіцієнт запасу міцності, удару на стійкість деталей колісних машин; забезпечення прохідності автомобільної техніки. Метою самостійних робіт дисципліни є здобуття практичних навичок щодо особливостей моделювання різних режимів навантажень дорожніх та спеціальних транспортних засобів, а також їх складових, з наступним аналізом напружено-деформованого стану, термічних навантажень, аеродинаміки, теплопередачі, конвекції, тертя, тощо. Студенти в результаті виконання самостійної роботи у середовищі Ansys Workbench: досліджують особливості формування крайових умов імітації натурних випробувань; набувають досвіду роботи з гібридними моделями, представленими стрижневими та оболонковими елементами, експериментують з функціоналом Ansys Workbench при їх імпорті та обробці; отримують практичні навички з формування сітки скінченних елементів, досліджуючи особливості розбиття моделі; аналізують отримані результати напружень, деформацій, переміщень, сил та моментів, енергії деформації тощо, встановлюють закономірності та залежності показників.

### Очікувані результати навчання

Студент, який успішно завершив вивчення дисципліни, повинен: **знати** основи теорії чисельних методів розв’язку статичних і динамічних задач механіки твердого тіла і практики використання методів на персональних комп’ютерах; **уміти працювати** з пакетами прикладних програм для плоского і твердотілого моделювання SWS і Ansys Workbench. Впровадження інформаційних технологій у вивчення розглянутої дисципліни: **професійно орієнтує слухачів; дає ґрунтовну підготовку за фахом**, яка пов’язана із спадкоємністю у викладанні; **активізує** науково-дослідницьку діяльність, підвищуючи гарантії працевлаштування випускників.

### Тематичний план дисципліни і календар його виконання

№ тижня	Тема лекції	Тема лабораторного заняття*	Самостійна робота студентів		
			Зміст	Год.	Література
1	2	3	4	5	6
1	ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ МОДЕЛЮВАННЯ Види моделей та моделювання. Функції моделей. Фактори, які впливають на модель об’єкта. Моделювання поршневих двигунів	Використання МСЕ для аналізу напруженого стану кріюка в SWS. Розрахунок в SWS деталей кривошипно-шатунних механізмів	Опрацювання лекційного матеріалу. Захист лабораторної роботи № 1. Опрацювання теоретичного матеріалу (тема самостійної роботи № 1)	7	[1], с. 6-13
2	АЛГОРИТМИ РОЗРАХУНКУ СИСТЕМ, ВУЗЛІВ І ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛІВ Технології моделювання. Алгоритм побудови аналітичної моделі. Алгоритм побудови емпіричної моделі. Коротка характеристика основних етапів алгоритмів побудови аналітичних та емпіричних моделей. Етап виявлення суперечності й формулювання проблеми Моделювання деталей механізмів газорозподілу	Використання в SWS аналізу моделі методом скінченних елементів для економії матеріалу деталі. Розрахунок в SWS деталей механізмів газорозподілу	Опрацювання лекційного матеріалу Захист лабораторної роботи № 2.	20	[1], с. 14-20

1	2	3	4	5	6
3	<p><b>ЗАСТОСУВАННЯ МСЕ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ПІДПРИЄМСТВ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ</b></p> <p>Визначення методу скінчених елементів. Варіанти методу скінченних елементів. Процес скінченно-елементного аналізу. Переваги і недоліки МСЕ. Моделювання деталей систем змащування та охолодження двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ), паливних систем</p>	<p>Визначення максимальної сили, яку може витримати анкерна плита, з передбаченням коефіцієнта запасу міцності <math>k=3,0</math>. Розрахунок в SWS деталей систем змащування та охолодження ДВЗ, паливних систем</p>	<p>Опрацювання лекційного матеріалу. Захист лабораторної роботи № 3</p>	7	[1], с. 21-30
4	<p><b>ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ МСЕ. МОДЕЛЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ЗЧЕПЛЕНЬ АВТОМОБІЛІВ</b></p> <p>Основні кроки МСЕ. Ідеалізація. Явне і неявне моделювання. Дискретизація. Джерела помилки і апроксимація. Загальна схема алгоритму МСЕ. Моделювання деталей зчеплень автомобілів</p>	<p>Аналіз в SWS напруженого стану хрестовини із застосуванням вилучення обмежень. Розрахунок в SWS деталей зчеплень</p>	<p>Опрацювання лекційного матеріалу. Захист лабораторної роботи № 4. Виконання і захист Дз1</p>	7	[1], с. 31-45
5	<p><b>АТРИБУТИ І КЛАСИФІКАЦІЯ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ. МОДЕЛЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ КОРОБОК ПЕРЕДАЧ І РОЗДАВАЛЬНИХ КОРОБОК</b></p> <p>Атрибути елемента. Класифікація скінченних елементів, використовуваних у механіці. Ансамблювання. Граничні умови. Моделювання деталей коробок передач і роздавальних коробок</p>	<p>Вивчення ефекту від вилучення ребра жорсткості сполучної ланки в SWS. Розрахунок в SWS деталей коробок передач та роздавальних коробок</p>	<p>Опрацювання лекційного матеріалу. Захист лабораторної роботи № 5</p>	7	[1], с. 46-59
6	<p><b>ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ МОДЕЛЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ</b></p> <p>Основні поняття плоскої задачі теорії пружності. Математична модель і початкові дані. Шукані функції. Вирішуючі рівняння. Граничні умови. Моделювання деталей карданних передач</p>	<p>Розрахунок в SWS значень фронтальних і поперечних горизонтальних сил, які приведуть до деформації. Розрахунок в SWS деталей карданних передач</p>	<p>Опрацювання лекційного матеріалу. Захист лабораторної роботи № 6. Опрацювання теоретичного матеріалу (тема самостійної роботи № 2)</p>	7	[1], с. 60-70
7	<p><b>ФОРМУВАННЯ І РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ГЛОБАЛЬНОЇ СИСТЕМИ СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНИХ РІВНЯНЬ</b></p> <p>Структура глобальної матриці жорсткості. Структура глобального вектора вузлових сил. Розв'язування глобальної системи скінченно-елементних рівнянь (СЕР). Метод трикутної факторизації. Обчислення напружень. Моделювання деталей головних передач і диференціалів і напівосей</p>	<p>Аналіз в тому шасі. Розрахунок в SWS деталей головних передач і диференціалів</p>	<p>Опрацювання лекційного матеріалу. Захист лабораторної роботи № 7</p>	20	[1], с. 71-79
8	<p><b>АЛГОРИТМ МСЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПІДПРИЄМСТВ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ</b></p> <p>Алгоритм МСЕ для тривимірної задачі теорії пружності. Генерація скінченно-елементної сітки. Апроксимація шуканих функцій. Формування системи алгебраїчних рівнянь. Кінематичне співвідношення. Визначаюче співвідношення. Формування глобальної</p>	<p>Перевірка на втому ходової частини автомобіля. Розрахунок в SWS деталей підвісок, рульового керування, гальмівних систем та інших деталей автомобільної техніки</p>	<p>Опрацювання лекційного матеріалу. Захист лабораторної роботи № 8. Виконання і захист Дз2</p>	7	[1], с. 80-98

системи алгебраїчних рівнянь Значення деформацій і напружень в довільних точках тіла. Алгоритм МСЕ для динамічного завдання. Розрахунок в'язко-пружних гармонійних коливань. Моделювання деталей підвісок, рульового керування, гальмівних систем та інших деталей автомобільної техніки				
--	--	--	--	--

**Примітка.** \* Лекції і практичні заняття проводяться щотижня по дві години

### Політика дисципліни

Організація освітнього процесу в Університеті відповідає вимогам положень про організаційне і навчально-методичне забезпечення освітнього процесу, освітній програмі та навчальному плану. Здобувач зобов'язаний відвідувати лекції і лабораторна заняття згідно з розкладом, не запізнюватися на заняття, виконувати завдання якісно і відповідно до графіка. Термін захисту лабораторної роботи вважається своєчасним, якщо здобувач захистив її на наступному занятті після виконання роботи. Пропущене лабораторне заняття здобувач зобов'язаний опрацювати в лабораторіях кафедри у встановлений викладачем термін, але не пізніше, ніж за тиждень до кінця теоретичних занять в університеті. Лабораторні роботи виконуються індивідуально або групами. Під час робіт над індивідуальним завданням недопустимі порушення правил академічної доброчесності. У разі наявності плагіату (спроба представити до захисту лабораторну роботу іншого варіанту) здобувач отримує незадовільну оцінку і має повторно виконати лабораторну роботу згідно з його варіантом. Окремі результати вивчення курсу можуть бути зараховані у випадку отримання здобувачем результатів навчання у неформальній освіті, що підтверджено відповідним документом (сертифікат, свідоцтво, освітня програма тощо). **Набутті** особою знання з дисципліни або її окремих розділів у неформальній освіті зараховуються відповідно до Положення про порядок визнання і зарахування результатів навчання здобувачів вищої освіти у ХНУ (вебсайт Університету (<https://khmnu.edu.ua/>): розділ «Нормативні документи», рубрика – «Положення», сторінка – «Положення про організацію освітньої діяльності»).

### Критерії оцінювання результатів навчання

Кожний вид роботи з дисципліни оцінюється за **чотирибальною** шкалою. Семестрова підсумкова оцінка визначається як середньозважена з усіх видів навчальної роботи, виконаних і зданих **позитивно** з урахуванням коефіцієнта вагомості. Вагові коефіцієнти змінюються залежно від структури дисципліни і важливості окремих видів її робіт. Поточний контроль здійснюється під час лекційних та лабораторних занять, а також у дні проведення контрольних заходів, встановлених робочою програмою і графіком навчального процесу. Оцінка, яка виставляється за лабораторне заняття, складається з таких елементів: усне опитування здобувачів перед допуском до виконання лабораторної роботи; знання теоретичного матеріалу з теми; якість оформлення звіту; вільне володіння здобувачем спеціальною термінологією і уміння професійно обґрунтувати прийняті рішення; своєчасний захист лабораторної роботи. При цьому використовуються методи поточного контролю: усне опитування перед допуском до лабораторного заняття; захист лабораторних робіт; колоквіум (усне опитування по всьому курсу).

Засвоєння здобувачем теоретичного матеріалу з дисципліни оцінюється під час захисту лабораторних робіт, вміння обґрунтувати прийняті рішення, своєчасне виконання домашніх завдань.

### Структурування дисципліни за видами робіт і оцінювання результатів навчання здобувачів денної форми навчання у семестрі за ваговими коефіцієнтами

Аудиторна робота	Самостійна, індивідуальна робота		Підсумковий контроль
Захист лабораторних робіт	Захист Дз1 і Дз2	Проміжний та підсумковий контроль	Залік
ВК: 0,4	0,5	0,1	за рейтингом

**Примітка:** ВК – 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, представлена у нижченаведеній таблиці.

Сума балів за тестові завдання	1–9	10-14	15-17	18-20
Оцінка за 4-бальною шкалою	2	3	4	5

На тестування відводиться 20 хвилин. Правильні відповіді студент записує у талоні відповідей. Студент може також пройти тестування і в он-лайн режимі у Модульному середовищі для навчання.

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

### Співвідношення вітчизняної шкали оцінювання і шкали оцінювання ЄКТС

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

### Питання для підсумкового контролю з дисципліни

1. Загальні поняття обчислювальної механіки.
2. Загальні поняття і класифікація задач обчислювальної механіки: лінійність і нелінійність.
3. Загальні поняття і класифікація задач обчислювальної механіки: методи дискретизації.
4. Варіанти МСЕ.
5. Процес скінченно-елементного аналізу.
6. Основні кроки МСЕ.
7. Основні поняття і концепція МСЕ: ідеалізація.
8. Основні поняття і концепція МСЕ: явне й неявне моделювання.
9. Основні поняття і концепція МСЕ: дискретизація.
10. Основні поняття і концепція МСЕ: джерела, помилки й апроксимація.
11. Загальна схема алгоритму МСЕ.
12. Визначення скінченних елементів.
13. Атрибути скінченного елемента.
14. Класифікація скінченних елементів, використовуваних в механіці.
15. Основні поняття і концепція МСЕ: ансамблювання.
16. Основні поняття і концепція МСЕ: граничні умови.
17. Основні поняття плоскої задачі теорії пружності.
18. Математична модель плоскої задачі теорії пружності.
19. Початкові дані плоскої задачі теорії пружності.
20. Шукані функції плоскої задачі теорії пружності.
21. Вирішуючі рівняння плоскої задачі теорії пружності.
22. Граничні умови плоскої задачі теорії пружності.
23. Базові співвідношення скінченно-елементного формулювання плоскої задачі теорії пружності.
24. Ослаблене формулювання задачі теорії пружності.
25. Повна потенційна енергія тіла.
26. Скінченно-елементна інтерполяція.
27. Виведення системи лінійних алгебраїчних рівнянь МСЕ.
28. Принцип мінімуму потенційної енергії.
29. Виведення вирішуючих рівнянь МСЕ.
30. Алгоритм МСЕ для тривимірної задачі теорії пружності.
31. Генерація скінченно-елементної сітки для тривимірної задачі теорії пружності.
32. Апроксимація шуканих функцій для тривимірної задачі теорії пружності.
33. Формування системи алгебраїчних рівнянь для тривимірної задачі теорії пружності.
34. Кінематичне співвідношення для тривимірної задачі теорії пружності.
35. Визначаюче співвідношення для тривимірної задачі теорії пружності.
36. Формування глобальної системи алгебраїчних рівнянь для тривимірної задачі теорії пружності.
37. Значення деформацій і напружень в довільних точках тіла.
38. Алгоритм МСЕ для динамічного завдання.
39. Розрахунок в'язко-пружних гармонійних коливань.
40. Сучасні програмні засоби скінченно-елементного аналізу.
41. Приклади застосування програмних засобів скінченно-елементного аналізу.

## Рекомендована література

### Основна

1. Диха О.В. Моделювання технологічних процесів підприємств автомобільного транспорту: методичні вказівки до лабораторних робіт для студентів напряму підготовки "Автомобільний транспорт" / О. В. Диха, О. Ю. Рудик. – Хмельницький: ХНУ, 2018. – 114 с.
2. Голенко К. Е. Моделювання технологічних процесів підприємств автомобільного транспорту: Методичні рекомендації до індивідуального завдання «Моделювання напружено-деформованого стану каркасних елементів» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» / К. Е. Голенко, О. Ю. Рудик. – Хмельницький: ХНУ, 2023. – 82 с.
3. Белов В.І. Конспект лекцій з дисципліни «Моделювання технологічних процесів підприємств автомобільного транспорту» / В.І. Белов. — Харків: ХНАДУ, 2017. – 65 с.
4. Карвацький А. Я. Метод скінченних елементів у задачах механіки суцільних середовищ. Лабораторний практикум з навчальної дисципліни: Навчальний посібник / А. Я. Карвацький. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 391 с.
5. Єршов С.В. Конспект лекцій з дисципліни "Методи аналізу, моделювання та оптимізації процесів ОМТ". Частина 3 «Теоретичні методи розрахунку процесів ОМТ» / С. В. Єршов. – Кам'янське: ДДТУ, 2016. – 61 с.

### Додаткова

1. Псьол Сергій. Застосування комп'ютерного моделювання для розрахунків автомобільного транспорту / Сергій Псьол, Олександр Диха, Олександр Рудик, Костянтин Голенко // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія: педагогічні науки / гол. ред. О. В. Діденко. – Хмельницький: Видавництво НАДПСУ, 2023. № 1(32). – С. 148-170.
2. Сорочак А.П. Програмне забезпечення інженерних розрахунків: конспект лекцій для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» всіх форм навчання / А.П. Сорочак/ – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. – 128 с.
3. Кравченко І.В. Інформаційні технології: Системи комп'ютерної математики [Електронний ресурс] / І.В. Кравченко, В. І. Микитенко. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 243 с.
4. Освітньо-професійна програма «Автомобільний транспорт». Рівень вищої освіти – перший «бакалаврський». Доступ до ресурсу: <https://khnmu.edu.ua/wp-content/uploads/op/b/274-at-2022.pdf>
5. Сайт компанії ANSYS, Inc. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.ansys.com/>
6. Справка по SolidWorks [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://help.solidworks.com/2024/Russian/SolidWorks/sldworks/r\\_welcome\\_sw\\_online\\_help.htm](http://help.solidworks.com/2024/Russian/SolidWorks/sldworks/r_welcome_sw_online_help.htm)

### Інформаційні ресурси

1. Електронна бібліотека університету. Доступ до ресурсу: <http://library.khnmu.edu.ua/>
2. Модульне середовище для навчання MOODLE. Доступ до ресурсу: <https://msn.khnmu.edu.ua/course/view.php?id=7065>
3. Репозитарій ХНУ. Доступ до ресурсу: <https://elar.khnmu.edu.ua/home>

Розробник(и) \_\_\_\_\_ к.т.н., доц. Олександр РУДИК

Погоджено:  
Гарант ОП \_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Олександр Диха

Зав.каф. ТАМ \_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Олександр Диха