

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

О. А. Гогоренко, Р. Ю. Авдюнін, В. С. Хоменко

ТЕОРІЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

**Методичні вказівки
до самостійної роботи здобувачів вищої освіти**

Рекомендовано Методичною радою НУК



ВИДАВНИЦТВО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМ. АДМІРАЛА МАКАРОВА

2023

Автори:

О. А. Гогоренко, канд. техн. наук, доцент, в.о. завідувача кафедри ДВЗ, У та ТЕ НУК імені адмірала Макарова;

Р. Ю. Авдюнін, викладач кафедри суднового машинобудування та енергетики ХННІ НУК імені адмірала Макарова;

В. С. Хоменко, викладач кафедри суднового машинобудування та енергетики ХННІ НУК імені адмірала Макарова

Рецензент

В. С. Наливайко, канд. техн. наук, професор кафедри ДВЗ, У та ТЕ НУК імені адмірала Макарова

Рекомендовано Методичною радою НУК

Гогоренко О. А.

Г58 Теорія робочих процесів двигунів внутрішнього згоряння : методичні вказівки до самостійної роботи здобувачів вищої освіти / О. А. Гогоренко, Р. Ю. Авдюнін, В. С. Хоменко. – Миколаїв : НУК, 2023. – 68 с.

Наведено загальні відомості про дисципліну, зміст лекційних занять з посиланнями на рекомендовану літературу, теми практичних занять, самостійну та науково-дослідну роботу з орієнтовним переліком тематики цих робіт, контрольних питань, перелік завдань для самостійної роботи здобувачів вищої освіти, поточний і підсумковий модульний контроль успішності, а також список рекомендованої літератури.

Призначено для здобувачів вищої освіти Херсонського ННІ денної та заочної форм навчання, що здобувають другий (магістерський) освітньо-професійний рівень і навчаються за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування» (спеціалізація «Двигуни внутрішнього згоряння»).

УДК 621.431.7.001.26:629.5.03(076)

© О. А. Гогоренко, Р. Ю. Авдюнін,
В. С. Хоменко, 2023

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2023

ЗМІСТ

Вступ	4
1. Опис навчальної дисципліни	6
2. Мета вивчення навчальної дисципліни	8
3. Передумови для вивчення дисципліни	9
4. Очікувані результати навчання	10
5. Програма навчальної дисципліни	12
6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування	33
7. Форми поточного та підсумкового контролів	35
8. Критерії оцінювання результатів навчання	43
9. Засоби навчання	45
10. Рекомендовані джерела інформації	46
<i>Додаток 1.</i> Питання до модульного контролю	51
<i>Додаток 2.</i> Зразок титульного аркуша до пояснювальної записки курсового проєкту	56
<i>Додаток 3.</i> Бланк завдання до виконання курсвого проєкту	57
<i>Додаток 4.</i> Перелік тем до курсового проєктування	60

ВСТУП

Анотація

Навчальною дисципліною «Теорія робочих процесів двигунів внутрішнього згоряння» підготовки здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти передбачено набуття здобувачами вищої освіти (ЗВО) навичок розробки математичних моделей окремих робочих процесів при дослідженні різних типів двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ).

Програма навчальної дисципліни «Теорія робочих процесів двигунів внутрішнього згоряння» розрахована на ЗВО, які вивчили наступні курси: «Теорія двигунів внутрішнього згоряння»; «Газова динаміка та агрегати наддуву»; «Технічна термодинаміка»; «Основи комп'ютерного проєктування двигунів внутрішнього згоряння», «Конструкція та динаміка двигунів внутрішнього згоряння».

Передбачається, що навички, отримані при вивченні дисципліни «Теорія робочих процесів двигунів внутрішнього згоряння», будуть використовуватися ЗВО при виконанні курсових проєктів і робіт з інших спеціальних дисциплін; при проведенні ними науково-дослідних робіт та підготовці кваліфікаційної роботи.

Ключові слова: двигун внутрішнього згоряння, квазістаціонарний процес, математична модель, робочий процес, теорія двигуна, CFD-моделювання, РССІ.

Annotation

The educational program “Theory of work processes of internal combustion engines” prepares applicants for the second (master’s) level of higher education provides for the acquisition of higher education skills to develop mathematical models of individual work processes in the study of different types of internal combustion engines (ICE).

The program of the discipline “Theory of working processes of internal combustion engines” is designed for applicants for higher education who have studied the following courses: “Theory of internal combustion engines”; “Gas Dynamics and Superchargers”; “Technical thermodynamics”; “Basics of Internal Combustion Engines Computer Design”, “Structure and Dynamics of Internal Combustion Engines”.

It is assumed that the skills acquired in the discipline “Theory of working processes of internal combustion engines” will be used by higher education students in the implementation of course projects and work in other special disciplines; conducting research work and preparing a master’s thesis.

Key words: internal combustion engine, workflow, engine theory, mathematical model, quasi-stationary process, PCCI, CFD modeling.

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, освітній рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів – 7	Галузь знань 14 «Електрична інженерія»	обов’язкова	
Модулів – 3	Спеціальність 142 «Енергетичне машинобудування» Освітня програма «Двигуни внутрішнього згоряння»	Рік підготовки	
Змістових модулів – 7		1-й	5-й
http://www.kb.nuos.edu.ua/Licensing%20and%20accreditation%20specialties/engineering-sector.html		Семестри	
Індивідуальне науково-дослідне завдання: «Розробка та складання математичної моделі узагальненого робочого процесу ДВЗ»		1-й, 2-й	1-й, 2-й
		Лекції	
		1-й семестр – 15 годин; 2-й семестр – 15 годин	1-й семестр – 8 годин; 2-й семестр – 6 годин
		Лабораторні роботи	
		1-й семестр – 15 годин	1-й семестр – 4 годин
		Практичні заняття	
Загальна кількість годин – 210			2-й семестр – 15 годин

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, освітній рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Тижневих годин для денної форми навчання: <u>1-й семестр:</u> аудиторних – 2; самостійної роботи ЗВО – 8; <u>2-й семестр:</u> аудиторних – 2; самостійної роботи ЗВО – 2	Освітній рівень другий (магістерський)	Самостійна робота	
		1-й семестр – 120 годин; 2-й семестр – 30 годин	1-й семестр – 138 годин; 2-й семестр – 44 години
		Види контролю	
		1-й семестр: КП, екзамен; 2-й семестр: екзамен	1-й семестр: КП, екзамен; контрольна робота; 2-й семестр: екзамен, контрольна робота
		Форма контролю	
		Письмова	

2. МЕТА ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою вивчення навчальної дисципліни «Теорія робочих процесів двигунів внутрішнього згоряння» є формування у ЗВО згідно зі Стандартом вищої освіти України, затвердженим Наказом Міністерства освіти і науки України № 427 від 16.04.21 р., та освітньо-професійною програмою «Двигуни внутрішнього згоряння» таких компетентностей.

Інтегральна компетентність:

Здатність розв'язувати задачі дослідницького та/або інноваційного характеру в галузі енергетичного машинобудування.

Загальні компетентності:

ЗК04. Здатність розробляти проєкти та управляти ними.

Спеціальні компетентності:

СК01. Здатність застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки у сфері енергетичного машинобудування;

СК03. Здатність аналізувати та комплексно інтегрувати сучасні знання з природничих, інженерних, суспільно-економічних та інших наук для розв'язання складних задач і проблем, пов'язаних з проєктуванням та експлуатацією енергетичного і теплотехнологічного обладнання;

СК04. Здатність аналізувати, оцінювати та застосовувати науково-технічну інформацію в галузі енергетичного машинобудування;

СК06. Здатність проєктувати та експлуатувати енергетичне і теплотехнологічне обладнання.

3. ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Передумовами для вивчення даної дисципліни є такі дисципліни: «Теорія двигунів внутрішнього згоряння», «Конструкція та динаміка двигунів внутрішнього згоряння», «Технічна термодинаміка», «Основи комп'ютерного проєктування двигунів внутрішнього згоряння», «Газова динаміка та агрегати наддуву».

4. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Вивчення навчальної дисципліни передбачає формування та розвиток у ЗВО таких результатів навчання:

РН1. Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають у себе сучасні наукові здобутки, а також критичне осмислення сучасних проблем у галузі енергетичного машинобудування для розв'язування складних задач професійної діяльності;

РН3. Формулювати і розв'язувати складні інженерні, виробничі та/або дослідницькі задачі під час проєктування, виготовлення й експлуатації енергетичного обладнання та створення конкурентоспроможних розробок, втілення результатів у інноваційних проєктах;

РН4. Розробляти і реалізовувати проєкти в галузі енергетичного машинобудування та пов'язані з нею міждисциплінарні проєкти з урахуванням технічних, економічних, правових, соціальних та екологічних аспектів;

РН6. Використовувати методи моделювання, а також методи експериментальних досліджень з метою детального вивчення тепло- і масообмінних, гідравлічних та інших процесів, які відбуваються в технологічному обладнанні та об'єктах енергетичного машинобудування;

РН7. Приймати ефективні рішення з інженерних та управлінських питань у галузі енергетичного машинобудування в складних і непередбачуваних умовах, у тому числі із застосуванням сучасних методів та засобів оптимізації, прогнозування і прийняття рішень;

РН8. Розробляти, обирати та застосовувати ефективні розрахункові методи розв'язання складних задач енергетичного машинобудування;

РН9. Формулювати та вирішувати інноваційні задачі галузі енергетичного машинобудування з урахуванням вимог до результатів, технічних стандартів, а також нетехнічних (суспільство, здоров'я і безпека, інтелектуальна власність, навколишнє середовище, економіка і виробництво) аспектів;

РН10. Вільно спілкуватися державною та іноземною мовами усно і письмово для обговорення професійних проблем і результатів досліджень та інновацій;

РН11. Презентувати результати досліджень та інновацій, зрозуміло і недвозначно доносити власні знання, висновки та аргументацію до фахівців і нефахівців;

РН13. Управляти складними робочими процесами в галузі енергетичного машинобудування, у тому числі такими, що є непередбачуваними та потребують нових стратегічних підходів.

5. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Модуль 1. Розрахункове дослідження процесів повітропостачання, проходження відокремленого індикаторного циклу, сумішоутворення та згоряння палива для різних типів ДВЗ

Змістовий модуль 1. Створення математичної моделі повітропостачання до циліндра двигуна

Тема 1. Розробка розрахункової схеми процесу проходження повітря від вхідної частини компресора до робочого циліндра двигуна (від параметрів P_0 та T_0 до параметрів у продувному колекторі P_k , T_k). Створення комп'ютерної програми «Процес стиснення в компресорній частині турбопоршневих ДВЗ».

Джерела інформації: [1], с. 15–42; [4], с. 309–362.

Тема 2. Розробка розрахункової схеми процесу наповнення циліндра до початкових параметрів перед початком стиснення P_a , T_a . Створення комп'ютерної програми «Гідравлічний опір впускного тракту».

Джерела інформації: [1], с. 173–182; [8], с. 14–22.

Змістовий модуль 2. Складання математичної моделі відокремленого індикаторного циклу

Тема 3. Теоретичні основи, на яких ґрунтується створення розрахунку індикаторного циклу. Розробка структурно-логічної схеми розрахунку на основі збереження балансу енергії.

Джерела інформації: [2], с. 5–14; [3], с. 25–28.

Тема 4. Складання програми на основі розробленої структурно-логічної схеми розрахунку. Створення комп'ютерної програми розрахунку «Індикаторний процес».

Джерела інформації: [2], с. 15–31.

Змістовий модуль 3. Складання математичної моделі найбільш поширених процесів сумішоутворення для ДВЗ

Тема 5. Аналіз існуючих способів сумішоутворення для різних камер стиснення. Створення розрахункової схеми процесу сумішоутворення для різних форм камер згоряння ДВЗ.

Джерела інформації: [1], с. 370–374.

Тема 6. Створення комп'ютерної програми для розрахунків процесів сумішоутворення.

Джерела інформації: [1], с. 385–394.

Змістовий модуль 4. Математичне моделювання процесу згоряння палива для різних камер стиснення ДВЗ

Тема 7. Поняття про одно-, дво- та багатозонні моделі згоряння палива у ДВЗ. Розробка розрахункової схеми для процесу згоряння палива. Складання розрахункової схеми згоряння для найбільш поширених камер згоряння ДВЗ.

Джерела інформації: [4], с. 227–230, 272–275; [5], с. 41–75.

Тема 8. Особливості одно-, дво- і багатозонних моделей процесу згоряння палива. Математична модель горіння палива в циліндрі ДВЗ при різних умовах (для однозонної моделі).

Джерела інформації: [1], с. 356–366; [3], с. 34–40; [4], с. 415–430.

Модуль 2. Курсовий проєкт

1. Аналіз літературних джерел і технічної документації відповідно до теми курсового проєкту.
2. Стислий опис двигуна внутрішнього згоряння. Діаметр і хід поршня. Форма камери згоряння. Конструкція остову двигуна (розміри втулки циліндра та її конструктивні особливості).
3. Вибір та обґрунтування вихідних даних для попереднього розрахунку робочого циклу за допомогою метода Гренівецького-Мазінга.
4. Розрахунок робочого процесу методом Гренівецького-Мазінга.
5. Вибір та обґрунтування вихідних даних для моделювання відокремленого індикаторного циклу двигуна.
6. Моделювання відокремленого індикаторного циклу з урахуванням конструктивних особливостей, призначення двигуна та рекомендацій керівника проєкту.
7. Аналіз отриманих результатів розрахунку.
8. Порівняння отриманих результатів розрахунку з даними двигунобудівних фірм. Оцінка можливості корегування та оптимізації запропонованих способів розрахунку циклу ДВЗ.
9. Побудова креслень згідно з отриманими результатами при моделюванні.
10. Оформлення пояснювальної записки у відповідності до вимог ЄСКД.
11. Захист курсового проєкту перед комісією.

Індивідуальне науково-дослідне завдання (ІНДЗ) є невід'ємною частиною курсової роботи.

Модуль 3. Розрахункове дослідження процесів теплопередачі через стінки циліндра, випуску відпрацьованих газів і моделювання узагальненого робочого процесу в турбопоршневих двигунах

Змістовий модуль 5. Теплопередача через стінки циліндра для різних типів ДВЗ

Тема 9. Аналіз теплових втрат при різних умовах передачі теплоти від газів до охолоджуючої рідини. Складання розрахункової схеми процесу теплопередачі для двигунів різного типу.

Джерела інформації: [1], с. 123–236; [3], с. 145–156; [4], с. 234–248.

Тема 10. Створення комп'ютерної програми для визначення теплових втрат із циліндра ДВЗ при різних конструкціях системи охолодження циліндра (за допомогою циліндричної порожнини охолодження; за рахунок каналів у верхній частині втулки; шляхом встановлення частково винесених втулок за межі блоку).

Джерела інформації: [2], с. 8–9; [7], с. 225–237.

Змістовий модуль 6. Процес випуску відпрацьованих газів, визначення їх параметрів після газової турбіни

Тема 11. Вплив конструкції газовипускної системи двигуна на процес випуску відпрацьованих газів. Складання розрахункової схеми випуску газів і створення комп'ютерної програми для визначення основних параметрів газів у випускному газоході.

Джерела інформації: [1], с. 182–196.

Тема 12. Складання комп'ютерної програми для розрахунків процесів випуску газів із циліндра.

Джерела інформації: [1], с. 196–210.

Змістовий модуль 7. Моделювання робочого процесу як узагальненого для турбопоршневих двигунів

Тема 13. Розробка структурно-логічної схеми узагальненого робочого процесу турбопоршневих ДВЗ.

Джерела інформації: [3], с. 200–218.

Тема 14. Розробка комп'ютерної програми для узагальненого робочого процесу турбопоршневого ДВЗ.

Джерела інформації: [3], с. 174–199.

Тема 15. Фактори, що впливають на утворення токсичних речовин у випускних газах ДВЗ. Основи розрахунку вмісту токсичних речовин у відпрацьованих газах різних типів двигунів. Використання комп'ютерного моделювання при розрахунках викидів NOx на прикладі моделі узагальненого робочого процесу ДВЗ.

Джерела інформації: [4], с. 279, 550; [5], с. 255–271; [6], с. 132–140.

Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем		Кількість годин									
		денна форма					заочна форма				
		у тому числі					у тому числі				
		усього	л.	п.р.	л.р.	с.р.	усього	л.	п.р.	л.р.	с.р.
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1-й семестр											
Модуль 1. Розрахункове дослідження процесів повітропостачання, проходження відокремленого індикаторного циклу, сумішоутворення та згоряння палива для різних типів ДВЗ											
Змістовий модуль 1. Створення математичної моделі повітропостачання до циліндра двигуна											
Тема 1. Розробка розрахункової схеми процесу проходження повітря від вхідної частини компресора до робочого циліндра двигуна (від параметрів P_0 та T_0 до параметрів у продуквному колекторі P_{kz} , T_k). Створення комп'ютерної програми «Процес стиснення в компресорній частині турбопоршневих ДВЗ»		5	2	–	–	3	5	1	–	–	4
Тема 2. Розробка розрахункової схеми процесу наповнення циліндра до початкових параметрів перед початком стиснення P_{a^*} , T_{a^*} . Створення комп'ютерної програми «Гідравлічний опір впускного тракту»		5	2	–	–	3	5	1	–	–	4
Разом за змістовим модулем 1		10	4	–	–	6	10	2	–	–	8
Змістовий модуль 2. Складання математичної моделі відокремленого індикаторного циклу											
Тема 3. Теоретичні основи, на яких ґрунтується створення розрахунку індикаторного циклу. Розробка структурно-логічної схеми розрахунку на основі збереження балансу енергії		8	2	–	2	4	8	1	–	1	6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Тема 4. Складання програми на основі розробленої структурно-логічної схеми розрахунку. Створення комп'ютерної програми розрахунку «Індикаторний процес»	8	2	–	2	4	8	1	–	1	6
Разом за змістовим модулем 2	16	4	–	4	8	16	2	–	2	12
Змістовий модуль 3. Складання математичної моделі найбільш поширених процесів сумішотворення для ДВЗ										
Тема 5. Аналіз існуючих способів сумішотворення для різних камер стиснення. Створення розрахункової схеми процесу сумішотворення для різних форм камер згоряння ДВЗ	6	2	–	–	4	6	1	–	–	5
Тема 6. Створення комп'ютерної програми для розрахунків процесів сумішотворення	6	2	–	–	4	6	1	–	–	5
Разом за змістовим модулем 3	12	4	–	–	8	12	2	–	–	10
Змістовий модуль 4. Математичне моделювання процесу згоряння палива для різних камер стиснення ДВЗ										
Тема 7. Поняття про одно-, дво- та багатозонні моделі згоряння палива у ДВЗ. Робота розрахункової схеми для процесу згоряння палива. Складання розрахункової схеми згоряння для найбільш поширених камер згоряння ДВЗ	11	2	–	5	4	11	1	–	2	8
Тема 8. Особливості одно-, дво- і багатозонних моделей процесу згоряння палива. Математична модель горіння палива в циліндрі ДВЗ при різних умовах (для однозонної моделі)	11	1	–	6	4	11	1	–	–	10
Разом за змістовим модулем 4	22	3	–	11	8	22	2	–	2	18
Разом за модулем 1	60	15	–	15	30	60	8	–	4	48

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Модуль 2. Курсовий проєкт										
1. Аналіз літературних джерел і технічної документації відповідно до теми курсового проєкту	5	–	–	–	5	5	–	–	–	5
2. Стислий опис двигуна внутрішнього згоряння. Діаметр і хід поршня. Форма камери згоряння										
3. Конструкція осову двигуна (розміри втулки циліндра та її конструктивні особливості)	5	–	–	–	5	5	–	–	–	5
3. Вибір та обґрунтування вихідних даних для попереднього розрахунку робочого циклу за допомогою метода Гренівельського-Мазінга	5	–	–	–	5	5	–	–	–	5
4. Розрахунок робочого процесу методом Гренівельського-Мазінга	5	–	–	–	5	5	–	–	–	5
5. Вибір та обґрунтування вихідних даних для моделювання відокремленого індикаторного циклу двигуна	5	–	–	–	5	5	–	–	–	5
6. Моделювання відокремленого індикаторного циклу з урахуванням конструктивних особливостей, призначення двигуна та рекомендацій керівника проєкту	5	–	–	–	5	5	–	–	–	5
7. Аналіз отриманих результатів розрахунку	5	–	–	–	5	5	–	–	–	5
8. Порівняння отриманих результатів розрахунку з даними двигунобудівних фірм. Оцінка можливості корегування та оптимізації запропонованих способів розрахунку циклу ДВЗ	5	–	–	–	5	5	–	–	–	5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
9. Побудова креслень згідно з отриманими результатами при моделюванні	5	–	–	–	5	5	–	–	–	5
10. Оформлення пояснювальної записки у відповідності до вимог ЄСКД	5	–	–	–	5	5	–	–	–	5
11. Захист курсового проєкту перед комісією	5	–	–	–	5	5	–	–	–	5
Індивідуальне науково-дослідне завдання	45	–	–	–	45	45	–	–	–	45
Усього	90	–	–	–	90	90	–	–	–	90
2-й семестр						2-й семестр				
Модуль 3. Розрахункове дослідження процесів теплопередачі через стінки циліндра, випуску відпрацьованих газів і моделювання узагальненого робочого процесу в турбопоршневих двигунах										
Змістовий модуль 5. Теплопередача через стінки циліндра для різних типів ДВЗ										
Тема 9. Аналіз теплових втрат при різних умовах передачі теплоти від газів до охолоджуючої рідини. Складання розрахункової схеми процесу теплопередачі для двигунів різного типу	6	2	–	–	4	6	1	–	–	5
Тема 10. Створення комп'ютерної програми для визначення теплових втрат із циліндра ДВЗ при різних конструкціях системи охолодження циліндру (за допомогою циліндричної порожнини охолодження; за рахунок каналів у верхній частині втулки; шляхом встановлення частково винесених втулок за межі блоку)	8	2	2	–	4	8	1	2	–	5
Разом за змістовим модулем 5	14	4	2	–	8	14	2	2	–	10
Змістовий модуль 6. Процес випуску відпрацьованих газів, визначення їх параметрів після газової турбіни										
Тема 11. Вплив конструкції газопускної системи двигуна на процес випуску відпрацьованих газів. Складання розрахункової схеми випуску газів і створення	8	2	2	–	4	8	1	2	–	5

Продовження таблиці

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
комп'ютерної програми для визначення основних параметрів газів у випускному газоподі										
Тема 12. Складання комп'ютерної програми для розрахунків процесів випуску газів із циліндра	8	2	2	–	4	8	1	2	–	5
Разом за змістовим модулем 6	16	4	4	–	8	16	2	4	–	10
Змістовий модуль 7. Моделювання робочого процесу як узагальненого для турбопоршневих двигунів										
Тема 13. Розробка структурно-логічної схеми «Технічна термодинаміка»; «Основні комп'ютерного проектування ДВЗ» узагальненого робочого процесу турбопоршневих ДВЗ	8	2	2	–	4	8	–	1	–	7
Тема 14. Розробка комп'ютерної програми для узагальненого робочого процесу турбопоршневого ДВЗ	11	2	4	–	5	11	1	2	–	8
Тема 15. Фактори, що впливають на утворення токсичних речовин у випускних газах ДВЗ. Основні розрахунку вмісту токсичних речовин у відпрацьованих газах різних типів двигунів. Використання комп'ютерного моделювання при розрахунках викидів NOx на прикладі моделі узагальненого робочого процесу ДВЗ	11	3	3	–	5	11	1	1	–	9
Разом за змістовим модулем 7	30	7	9	–	14	30	2	4	–	24
Разом за модулем 3	60	15	15	–	30	60	6	10	–	44
Разом із дисципліни	210	30	15	15	150	210	14	10	4	182

Примітки:

- 1) л – лекції; п.р. – практичні роботи; л.р. – лабораторні роботи; с.р. – самостійна робота ЗВО;
- 2) для ЗВО заочної форми навчання викладаються оглядові лекції за темами змістових модулів в обсягах відповідно до наведеної таблиці.

Теми лабораторних занять

Виконання лабораторних робіт залучає ЗВО до науково-експериментальної діяльності та науково-дослідної роботи (НДР).

Лабораторні заняття проводяться у спеціально обладнаній лабораторії з ЕОМ.

На вступному занятті проводиться інструктаж з правил техніки безпеки при роботі в лабораторній аудиторії та ознайомлення із відповідними інструкціями з розробленою програмою проведення занять.

Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
1	2	3	4
Модуль 1. Розрахункове дослідження процесів повітропостачання, проходження відокремленого індикаторного циклу, сумішоутворення та згоряння палива для різних типів ДВЗ			
Змістовий модуль 2. Складання математичної моделі відокремленого індикаторного циклу			
1	Визначення теплових втрат із циліндра двигуна при використанні різних методів визначення коефіцієнта тепловіддачі від газу до стінки на основі математичної моделі. Джерела інформації: [10], с. 177–189	2	1
2	Дослідження основних параметрів стану газів у випускному газоході шляхом їх математичного моделювання. Джерела інформації: [10], с. 135–138	2	1
Змістовий модуль 4. Математичне моделювання процесу згоряння палива для різних камер стиснення ДВЗ			
3	Визначення закону руху механічно вільного випускного клапану в системі газообміну двотактних двигунів. Джерела інформації: [2], с. 73–82	2	1
4	Дослідження впливу співвідношення S/D ДВЗ з метою підвищення ефективності роботи двигуна. Джерела інформації: [1], с. 457–461; [2], с. 90–93; [17], с. 8–16	3	1

1	2	3	4
5	Визначення основних параметрів роботи двигуна на основі створеної програми розрахунку робочого процесу турбопоршневого ДВЗ. Джерела інформації: [2], с. 7–24	2	–
6	Дослідження утворення NOx на різних режимах роботи ДВЗ. Джерела інформації: [4], с. 279; [5], с. 255–271; [6], с. 132–140; [8], с. 337–357	4	–
	Усього	15	4

Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
1	2	3	4
Модуль 2. Розрахункове дослідження процесів теплопередачі через стінки циліндра, випуску відпрацьованих газів і моделювання узагальненого робочого процесу в турбопоршневих двигунах			
Змістовий модуль 5. Теплопередача через стінки циліндра для різних типів ДВЗ			
1	Створення комп'ютерної програми для визначення теплових втрат із циліндра ДВЗ при різних конструкціях системи охолодження. Джерела інформації: [10], с. 149–152	2	2
Змістовий модуль 6. Процес випуску відпрацьованих газів, визначення їх параметрів після газової турбіни			
2	Визначення температури і тиску газів перед турбіною. Визначення потужності газової турбіни. Джерела інформації: [1], с. 182–196	2	2
3	Складання комп'ютерної програми для розрахунків процесів випуску газів із циліндра. Джерела інформації: [1], с. 218–230	2	2
Змістовий модуль 7. Моделювання робочого процесу як узагальненого для турбопоршневих двигунів			
4	Складання структурно-логічної схеми узагальненого робочого процесу турбопоршневого ДВЗ. Джерела інформації: [2], с. 5–6	2	1

1	2	3	4
5	Створення програми для розрахунку робочого процесу турбопоршневого ДВЗ. Розрахунок основних параметрів роботи двигуна на базі створеної програми розрахунку. Джерела інформації: [3], с. 174–181	4	2
6	Створення комп'ютерної моделі утворення NOx при різних режимах роботи ДВЗ. Джерела інформації: [4], с. 279; [5], с. 255–271; [6], с. 132–140	3	1
	Усього	15	10

Самостійна робота

Самостійна робота ЗВО – це навчальна самостійна діяльність, яку науково-педагогічний працівник (НПП) планує разом зі ЗВО, але виконує її ЗВО за завданнями та під керівництвом і контролем НПП без його прямої участі. Самостійна робота ЗВО забезпечується навчально-методичними засобами, необхідними для вивчення дисципліни: підручниками, навчальними та методичними посібниками (для самостійної роботи), конспектами лекцій, ЕОМ тощо.

До основних форм самостійної роботи ЗВО при вивченні даної дисципліни також відносяться:

- самостійне опрацювання окремих розділів з рекомендованої літератури;
- самостійне опрацювання лекційного матеріалу;
- підготовка до виконання, оформлення та захисту лабораторних і практичних робіт;
- виконання контрольної роботи (для ЗВО заочної форми навчання);
- підготовка до поточного модульного контролю;
- підготовка до підсумкового модульного контролю (екзамену);
- виконання курсового проєкту.

Розподіл годин самостійної роботи

№ з/п	Вид роботи	Кількість годин		
		Норматив	Денна форма	Заочна форма
1-й семестр				
1	Підготовка до лекційних занять	0,5 годин на 1 лекцію	4	4
2	Підготовка до лабораторних робіт	0,5 годин на 1 роботу	3	2
3	Підготовка до поточного модульного контролю	підготовка до контрольних заходів – до 15 годин на 1 захід	10	–
4	Підготовка до екзамену		13	13
5	Самостійне опрацювання окремих тем	до 2 годин на 1 тему	–	16
6	Виконання контрольної роботи	до 15 годин на 1 роботу	–	13
7	Виконання курсового проекту	90 годин	90	90
Разом за 1-й семестр			120	138
2-й семестр				
1	Підготовка до лекційних занять	0,5 годин на 1 лекцію	4	3
2	Підготовка до практичних робіт	0,5 годин на 1 роботу	3	3
3	Підготовка до поточного модульного контролю	підготовка до контрольних заходів – до 15 годин на 1 захід	10	–
4	Підготовка до екзамену		13	13
5	Самостійне опрацювання окремих тем	до 2 годин на 1 тему	–	12
6	Виконання контрольної роботи	до 15 годин на 1 роботу	–	13
Разом за 2-й семестр			30	44

На самостійну роботу виноситься поглиблене вивчення наступних питань:

№ з/п	Завдання для самостійної роботи	Література
1	2	3
Модуль 1. Розрахункове дослідження процесів повітропостачання, проходження відокремленого індикаторного циклу, сумішоутворення та згоряння палива для різних типів ДВЗ		
Змістовий модуль 1. Створення математичної моделі повітропостачання до циліндра двигуна		
1	Визначення основних факторів, які впливають на якість наповнення циліндра свіжим повітрям. Фактори, що визначають температуру заряду циліндра перед стисненням (T_a)	[1], с. 15–42
2	Залежність втрат тиску повітря при вході в циліндр від його швидкості	[4], с. 309–362
Змістовий модуль 2. Складання математичної моделі відокремленого індикаторного циклу		
3	Теоретичні засади теорії розрахунку індикаторного циклу за методом Гріневецького-Мазінга. Рівняння процесів	[22], с. 6–16
4	Положення, покладені в основу створеного в ХННІ НУК розрахунку відокремленого індикаторного циклу	[2], с. 15–31
Змістовий модуль 3. Складання математичної моделі найбільш поширених процесів сумішоутворення для ДВЗ		
5	Вплив основних факторів на якість сумішоутворення	[1], с. 370–394
6	Реалізація алгоритму процесу сумішоутворення у середовищі Microsoft Visual Basic for Applications	[2], с. 19–23
Змістовий модуль 4. Математичне моделювання процесу згоряння палива для різних камер стиснення ДВЗ		
7	Вплив закону згоряння (метод професора Вібе) на точність розрахунку робочого циклу	[8], с. 434–448
8	Одно-, дво- та багатозонні моделі. Відмінності	[8], с. 85–113

1	2	3
Модуль 3. Розрахункове дослідження процесів теплопередачі через стінки циліндра, випуску відпрацьованих газів і моделювання узагальненого робочого процесу в турбопоршневих двигунах		
Змістовий модуль 5. Теплопередача через стінки циліндра для різних типів ДВЗ		
9	Процес передавання теплоти від газів до охолоджуючої рідини	[22], с. 177–189
10	Розрахунок теплового потоку від газів до охолоджуючої рідини	[22], с. 177–189
Змістовий модуль 6. Процес випуску відпрацьованих газів, визначення їх параметрів після газової турбіни		
11	Чинники, що впливають на проходження процесу випуску газів із циліндра	[12], с. 135–138
12	Рівняння (закони), які використовуються при розрахунку процесу випуску газів із циліндра	[12], с. 135–138
Змістовий модуль 7. Моделювання робочого процесу як узагальненого для турбопоршневих двигунів		
13	Складові узагальненого робочого процесу	[1], с. 385–394
14	Узагальнена модель робочого процесу турбопоршневого ДВЗ	[3], с. 174–199
15	Основні фактори, що впливають на кількість шкідливих викидів турбопоршневого двигуна	[4], с. 279, 550

Курсовий проєкт

Курсовий проєкт є складовою самостійної роботи ЗВО, яку він виконує, спираючись на знання, отримані в ході вивчення дисципліни «Теорія робочих процесів двигунів внутрішнього згоряння». Курсовий проєкт виконується згідно з індивідуальним завданням і під керівництвом НПП.

Курсовий проєкт умовно можна поділити на: вступну частину, основну частину, список використаних джерел, додатки (при необхідності).

Вступна частина повинна мати такі структурні елементи: титульний лист (додаток 2), завдання (додаток 3), зміст, перелік умовних скорочень.

Основна частина містить такі структурні одиниці: вступ, основний текст курсового проєкту, висновки та рекомендації, список використаних джерел, який оформлюється згідно з ДСТУ (ГОСТ) 7.1:2006 «Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи. Бібліографічний запис, бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання».

Додатки розміщують після основної частини курсового проєкту.

Тематики курсового проєкту та індивідуальної розрахункової науково-дослідної частини наведені у додатку 4.

Індивідуальне науково-дослідне завдання

Індивідуальне науково-дослідне завдання (ІНДЗ) здобувача вищої освіти інтегроване в освітню діяльність і є одним із найважливіших засобів формування висококваліфікованого магістра. Воно є невід'ємною частиною (розділом) курсового проєкту і передбачає участь у дослідженнях наукових гуртків, проблемних груп, секцій, лабораторій; проведення досліджень у межах творчої співпраці кафедр Херсонського ННІ НУК, факультетів; написання статей, тез, доповідей, інших публікацій та їх упровадження.

Виконання ІНДЗ створює умови для якнайповнішої реалізації творчих можливостей ЗВО і має на меті поглиблення, узагальнення та закріплення знань, які здобувачі отримують у процесі навчання, а також застосування цих знань на практиці.

Орієнтовна структура ІНДЗ: актуальність дослідження; науково-прикладна задача дослідження; об'єкт дослідження, предмет дослідження; мета роботи; основні задачі дослідження; методи дослідження; основні наукові результати та їхня новизна; достовірність результатів дослідження. У висновках викладаються здобуті під час ІНДЗ найбільш важливі наукові

та практичні результати, які сприяли розв'язанню наукової проблеми (завдання). У висновках необхідно наголосити на кількісних показниках отриманих результатів та обґрунтувати достовірність цих результатів, навести аналіз отриманих результатів та їх творче обґрунтування на предмет оформлення патентоспроможних рішень.

Перелік тем для ІНДЗ представлений у наступній таблиці.

№ з/п	Назва теми
1	2
1	Розрахункова схема і створення математичної моделі процесу стиснення в циліндрі двигуна за методом Гринівецького-Мазінга та використання математичної моделі «Індикаторний цикл»
2	Визначення середнього показника політропи стиснення при використанні математичної моделі процесу стиснення за методом Гринівецького-Мазінга та математичної моделі «Індикаторний цикл»
3	Створення розрахункової схеми процесу згоряння палива та створення математичної моделі за методом Гринівецького-Мазінга
4	Розробка розрахункової схеми та створення математичної моделі процесу розширення за методом Гринівецького-Мазінга та математичної моделі «Індикаторний цикл»
5	Розробка розрахункових формул для визначення середньої величини показника політропи розширення та тиску газів у точці "b"
6	Розробка розрахункової схеми та створення математичної моделі процесів розпилення палива
7	Використовуючи математичну модель «Індикаторний цикл», провести дослідження зміни коефіцієнта тепловіддачі від газів до внутрішньої втулки циліндра за формулою Ейхільберга та формулою Семенова
8	На базі математичної моделі індикаторного циклу розрахувати температуру газів у залежності від кута повороту колінчастого вала і визначити теплові втрати через стінку втулки
9	На базі математичної моделі «Індикаторний цикл» дослідити зміну тиску газів у залежності від кута повороту кривошипа та знайти механічне напруження втулки циліндра
10	Використовуючи залежність температури газів від кута повороту кривошипа, дослідити зміну термічної напруженості втулки циліндра
11	На базі моделі індикаторного циклу дослідити: зміну тиску газів у циліндрі двигуна, зміну температури газів та індикаторного ККД у залежності від кута повороту кривошипа

1	2
12	Провести мінімізацію питомої площі охолодження циліндра при циліндричній формі камери стиснення
13	Провести мінімізацію питомої площі охолодження циліндра при напівкульовій формі камери стиснення
14	Провести мінімізацію питомої площі охолодження циліндра при кульовій формі камери стиснення
15	Дослідження процесу вільного випуску газів при газообміні двотактного двигуна з прямоточно-клапанним продуванням. Порівняльний аналіз отриманих результатів з експериментальними даними фірм-виробників ДВЗ. Розробка рекомендацій
16	Дослідження процесу примусового випуску газів при газообміні двотактного двигуна з прямоточно-клапанним продуванням. Зіставлення отриманих результатів з експериментальними даними фірм-виробників ДВЗ. Розробка рекомендацій
17	Розрахункове дослідження процесу продування при газообміні двотактного двигуна. Перевірка адекватності отриманих результатів на основі реальних даних фірм-виробників ДВЗ. Розробка рекомендацій
18	Дослідження процесу вільного випуску газів при газообміні чотиритактного двигуна з клапанним продуванням. Порівняльний аналіз отриманих результатів з експериментальними даними фірм-виробників ДВЗ. Розробка рекомендацій
19	Дослідження процесу примусового випуску газів при газообміні чотиритактного двигуна з клапанною продувкою. Зіставлення отриманих результатів з експериментальними даними фірм-виробників ДВЗ. Розробка рекомендацій
20	Розрахункове дослідження процесу продування при газообміні чотиритактного двигуна. Перевірка адекватності отриманих результатів на основі реальних даних фірм-виробників ДВЗ. Розробка рекомендацій
21	Розрахункове дослідження втрат енергії робочого тіла при газообміні двотактного двигуна з прямоточно-клапанним продуванням на ділянці втрати заряду. Розробка рекомендацій
22	Розрахункове дослідження вільного випуску газів при газообміні чотиритактного двигуна. Розробка рекомендацій
23	Розрахункове дослідження примусового випуску газів при газообміні чотиритактного двигуна. Розробка рекомендацій
24	Розрахункове дослідження втрати заряду робочого тіла при газообміні чотиритактного двигуна на ділянці перекриття клапанів. Розробка рекомендацій
25	Розрахункове дослідження процесу сумішоутворення для різних типів ДВЗ. Розробка рекомендацій

1	2
26	Розрахункове дослідження процесу горіння палива з урахуванням різних схем сумішоутворення. Розробка рекомендацій
27	Розрахункове дослідження індикаторного циклу двигуна на базі енергетичного балансу. Аналіз отриманих результатів. Розробка рекомендацій
28	Розробка уточненої методики розрахунку теплопередачі через поверхню циліндра. Розробка рекомендацій
29	Розрахункове дослідження залежності індикаторного ККД циклу від кута випередження подачі палива. Розробка рекомендацій
30	Дослідження залежності індикаторного ККД циклу від тривалості процесу згоряння. Розробка рекомендацій

Контрольна робота

Опанування навчальної дисципліни передбачає виконання контрольної роботи ЗВО заочної форми навчання у кожному навчальному семестрі.

Контрольна робота виконується у години самостійної роботи ЗВО після вивчення відповідного блоку змістових модулів. До модулів 1 і 3 підготовлений перелік із трьох питань (додаток 1 даної робочої програми). Нижче наводиться таблиця з переліком питань для ЗВО відповідно до його номеру в академічній групі.

Питання контрольної роботи

Номер варіанта	Номер питання (з переліку питань)					
	Модуль 1 (1-й семестр)			Модуль 3 (2-й семестр)		
1	2	3	4	5	6	7
1	1	3	5	30	3	9
2	2	4	6	10	1	29
3	10	9	8	2	27	9
4	7	11	12	21	6	11
5	20	18	16	13	28	17

Продовження таблиці

1	2	3	4	5	6	7
6	15	14	17	8	29	13
7	19	21	23	26	5	21
8	22	24	26	6	12	23
9	29	25	27	4	25	5
10	31	28	30	17	1	22
11	30	29	17	24	3	11
12	9	6	1	7	9	23
13	23	4	7	4	30	1
14	26	24	11	22	14	8
15	15	21	5	10	24	26
16	14	21	11	15	21	5
17	3	29	15	14	21	11
18	27	24	9	3	29	15
19	30	20	6	27	24	9
20	22	9	13	30	20	6
21	21	4	7	8	29	16
22	8	30	4	16	15	18
23	5	9	3	4	13	2
24	25	27	17	18	1	11
25	4	6	6	3	9	19
26	13	18	22	12	20	17
27	21	10	1	7	14	15
28	29	6	23	16	22	2
29	17	11	24	19	30	5
30	17	3	19	3	23	13

6. МЕТОДИ НАВЧАННЯ, ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ ТА МЕТОДИ ЇХ ДЕМОНСТРУВАННЯ

Методи навчання – способи, якими забезпечується набуття здобувачами відповідних компетенцій через засвоєння програмного матеріалу та активізацію навчального процесу, а саме:

для всіх видів занять:

- робота з літературою – опрацювання різних видів джерел, спрямоване на формування нових знань, їх закріплення, вироблення вмінь і навичок;
- пояснення – словесне розкриття причинно-наслідкових зв'язків і закономірностей у розвитку природи, людського суспільства і людського мислення;
- дискусія – обмін поглядами щодо конкретної проблеми з метою набуття нових знань, зміцнення власної думки, формування вміння її обстоювати;
- демонстрування – наочно-чуттєве ознайомлення здобувачів з явищами, процесами, об'єктами в їх природному вигляді;

для лекційних занять:

- лекція – усний виклад навчального матеріалу, який характеризується великим обсягом, складністю логічних побудов, сконцентрованістю розумових образів, доведень і узагальнень;
- бесіда – питально-відповідний метод, завдання якого – спонукати здобувачів до актуалізації відомих і засвоєння нових знань шляхом самостійних роздумів, висновків і узагальнень;

для практичних та лабораторних занять:

- практична робота – метод поглиблення і закріплення теоретичних знань та перевірки наукових висновків;
- лабораторна робота – вивчення в спеціальних умовах явищ природи за допомогою спеціального обладнання;

методи контролю і самоконтролю:

- фронтальне опитування;
- контрольні роботи.

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання є:

- виконання лабораторних і практичних робіт;
- поточний модульний контроль;
- виконання курсового проєкту;
- виконання контрольних робіт (ЗВО заочної форми навчання);
- підсумковий контроль (екзамен).

7. ФОРМИ ПОТОЧНОГО ТА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛІВ

Досягнення ЗВО оцінюються за 100-бальною системою Університету.

Підсумкова оцінка навчального курсу включає в себе оцінки з поточного контролю й оцінки заключного екзамену.

Питома вага заключного екзамену в загальній системі оцінок – **40 балів**. Право складати заключний екзамен надається ЗВО, який з урахуванням балів проміжних оцінок набирає не менше **60 балів** та успішно захистив курсову роботу. Підсумкова оцінка навчального курсу є сумою проміжних оцінок і оцінки екзамену.

Поточний контроль проводиться на кожному практичному та лабораторному заняттях і за результатами виконання завдань самостійної роботи. Він передбачає оцінювання теоретичної підготовки ЗВО із зазначеної теми (у тому числі самостійно опрацьованого матеріалу) під час виконання завдань практичних і лабораторних робіт.

Підсумковий контроль з дисципліни проводиться відповідно до навчального плану у вигляді екзамену в термін, установлений графіком навчального процесу.

Форми контролю результатів навчальної діяльності ЗВО та їх оцінювання

Практична робота

Кількість балів	Критерії оцінювання за бальною шкалою
4	Робота виконана у встановлений термін. ЗВО самостійно визначає тип задачі та раціонально розв'язує її. Може розв'язувати комбіновані задачі. Звіт відповідає встановленим вимогам
3	Робота виконана самостійно з порушенням установлених термінів. ЗВО самостійно визначає тип задачі та раціонально розв'язує її. Може розв'язувати комбіновані задачі. Звіт відповідає встановленим вимогам
2	Робота виконана з порушенням установлених термінів. ЗВО наводить потрібні формули. Розв'язує задачу, користуючись алгоритмом. Складений звіт містить неточності у висновках і помилки
1	Робота виконана з порушенням установлених термінів. ЗВО частково виконав поставлені завдання. Іноді потребує консультації НПП. Звіт містить неточності та помилки
0	ЗВО не розв'язує задачі

Лабораторна робота

Кількість балів	Критерії оцінювання
4	Робота виконана у встановлений термін. Виконана самостійно, у повному обсязі, згідно з методикою. У висновках проведена коректна інтерпретація результатів
3	Робота виконана у встановлений термін. ЗВО виконує лабораторну роботу згідно з методикою, іноді після консультації НПП; в цілому правильно складає звіт і робить висновки
2	Робота виконана з порушенням установлених термінів. ЗВО виконує лабораторну роботу згідно з методикою; складений звіт містить неточності у висновках і помилки
1	Робота виконана з порушенням установлених термінів. ЗВО виконує лабораторну роботу під керівництвом НПП; складений звіт містить неточності у висновках та помилки
0	Робота не виконувалася

Курсовий проєкт

Параметри оцінювання	Кількість балів	Критерії оцінювання
1	2	3
Пояснювальна записка	20	Зміст проєкту відповідає обраній темі; наявність чітко сформульованої проблеми; адекватність формулювання об'єкта, предмета, мети і задач дослідження; визначення ступеню розробленості проблеми дослідження; наявність посилань на використану літературу та відповідність оформлення проєкту стандарту; адекватність обраних методів предмету дослідження, грамотне використання методів (процедура, обробка, інтерпретація результатів); відповідність висновків меті та завданням дослідження. Робота виконувалась систематично та вчасно подана на перевірку керівнику у відповідності із планом виконання курсового проєкту
	15	Зміст проєкту відповідає обраній темі; наявність чітко сформульованої проблеми; адекватність формулювання об'єкта, предмета, мети і задач дослідження; визначення ступеню розробленості проблеми дослідження; наявність посилань на використану літературу та відповідність оформлення роботи стандарту; адекватність обраних методів предмету дослідження, грамотне використання методів (процедура, обробка, інтерпретація результатів); відповідність висновків меті і завданням дослідження. Проєкт виконувався несистематично та поданий на перевірку керівнику з порушенням плану виконання курсового проєкту
	10	Зміст проєкту відповідає обраній темі, але має поверховий аналіз, матеріал викладено непослідовно та необґрунтовано. Проєкт виконувався несистематично і поданий на перевірку керівнику з порушенням плану виконання курсового проєкту
	5	Зміст проєкту не відповідає обраній темі. Проєкт не відповідає вимогам, які висуваються до курсових проєктів. У проєкті немає висновків або вони носять декларативний характер

1	2	3
Індивідуальне науково-дослідне завдання	20	Завдання відповідає обраній темі; чітко сформульована проблема; адекватно сформульовано об'єкт, предмет, мету і задачі дослідження; обрані методи відповідають предмету дослідження; відповідність висновків меті і завданням дослідження
	10	Завдання відповідає обраній темі; чітко сформульована проблема; недостатньо адекватно сформульовано об'єкт, предмет, мету і задачі дослідження; наявність деяких невідповідностей висновків меті та завданням дослідження
	5	Зміст завдання не відповідає обраній темі; не чітко сформульована проблема; недостатньо адекватно сформульовано об'єкт, предмет, мету та задачі дослідження; наявність невідповідностей висновків меті та завданням дослідження
Графічна частина	20	Графічні матеріали виконані без помилок на високому рівні. Оформлення креслень здійснювалось з дотриманням стандартів і вимог, що висуваються
	15	Графічні матеріали виконані без помилок на достатньому рівні. Оформлення креслень здійснювалось з деякими відхиленнями від стандартів і вимог, що висуваються
	10	Графічні матеріали виконані з невеликою кількістю помилок на середньому рівні. В оформленні креслень присутні відхилення від стандартів і вимог, що висуваються
	5	Графічні матеріали низької якості
Захист проєкту	40	Доповідь логічно побудована, ЗВО чітко та стисло викладає основні результати дослідження, показує глибокі знання з питань теми, оперує даними дослідження, вносить пропозиції з теми дослідження, під час доповіді впевнено і докладно відповідає на поставлені запитання
	35	ЗВО спроможний чітко та стисло викласти основні результати дослідження, дає правильні відповіді на всі запитання, але не завжди упевнений в аргументації, чи не завжди коректно її формулює

Продовження таблиці

1	2	3
	30	ЗВО спроможний чітко та стисло викласти основні результати дослідження, належно обґрунтовує положення проєкту, але допускає неточності у відповідях на запитання
	25	ЗВО спроможний чітко та стисло викласти основні результати дослідження, але допускає суттєві неточності у відповідях на запитання, не завжди належно обґрунтовує положення проєкту
	20	ЗВО невпорядковано викладає основні результати дослідження, намагається дати відповідь на поставлені запитання і робить спроби аргументувати положення проєкту
	15	ЗВО невпорядковано викладає основні результати дослідження, робить спроби аргументувати положення роботи, надає неповні, поверхові, необґрунтовані відповіді на поставлені питання
	10	ЗВО демонструє задовільні знання з теми дослідження, але не може впевнено й чітко відповісти на додаткові запитання членів комісії та належно обґрунтувати положення проєкту
	5	ЗВО невпорядковано викладає основні результати дослідження, не спроможний дати відповіді на запитання, відстоювати свою позицію

Контрольна робота (для ЗВО заочної форми)

Кількість балів		Критерії оцінювання
1-й семестр	2-й семестр	
1	2	3
44	36	Робота виконана у встановлений термін. Матеріал викладено в достатньому обсязі, аргументовано й у правильній послідовності. Використані не тільки рекомендовані джерела інформації, а й новітні, самостійно знайдені у періодичних виданнях та інтернет-ресурсах. Правильно сформульовані узагальнюючі висновки. Робота достатньо ілюстрована, оформлена акуратно, з дотриманням вимог до технічної документації. Під час захисту роботи ЗВО вільно орієнтується в матеріалах

1	2	3
35	25	Робота виконана у встановлений термін. Матеріал викладено в достатньому обсязі, логічно. Використані рекомендовані джерела інформації. Правильно сформульовані узагальнюючі висновки. Робота оформлена акуратно, з дотриманням вимог до технічної документації. Під час захисту роботи ЗВО орієнтується в матеріалах, у відповідях є неточності
20	15	Робота виконана з порушенням установлених термінів. Матеріал викладено у правильній послідовності, але недостатньо повно. Недостатньо використані рекомендовані джерела інформації. Висновки сформульовані формально або не зв'язані з матеріалами роботи. В оформленні роботи є порушення вимог до технічної документації. Під час захисту роботи ЗВО в цілому орієнтується в матеріалах, у відповідях є помилки та неточності
10	5	Робота виконана з порушенням установлених термінів. Матеріал викладено безсистемно, висновки сформульовані формально або відсутні. Робота оформлена неохайно, з порушенням вимог до технічної документації. Під час захисту роботи ЗВО слабо орієнтується в матеріалах, у відповідях є помилки
0	0	Роботу не виконано

Поточний модульний контроль у письмовій формі (1-й семестр)

Однією з форм поточного контролю з даної дисципліни у 1-му семестрі є проведення двох модульних контрольних робіт (МКР) у формі письмової відповіді (перелік контрольних питань наведений у додатку 1). Кожна робота включає в себе три питання, які оцінюють за критеріями, наведеними нижче в таблиці.

Письмова відповідь

Бал	Критерії оцінювання одного питання
6	Відповідь правильна, повна, логічна. ЗВО на високому рівні розкриває зміст питання, використовує міжпредметні зв'язки, робить аргументовані висновки
5	Відповідь у цілому правильна, достатньо повна, логічна; допущені несуттєві помилки та неточності у викладенні матеріалу
4	Відповідь частково правильна, містить неточності, недостатньо обґрунтована
2	Відповідь має суттєві помилки, аргументи несформульовані, використовується невірна термінологія
1	Відповідь містить значну кількість суттєвих помилок, не обґрунтована
0	ЗВО не дає відповіді

1-й семестр

Форма контролю	Максимальна кількість балів	
	денна форма	заочна форма
Виконання лабораторних робіт	6 робіт $\times$ 4 бали = 24 бали	4 роботи $\times$ 4 бали = 16 балів
Поточний модульний контроль	2 МКР $\times$ 18 балів = 36 балів	—
Виконання контрольних робіт	—	1 робота $\times$ 44 бали = 44 бали
Усього	60	60

Поточний модульний контроль у формі тестування (2-й семестр)

На кожну з двох модульних контрольних робіт у 2-му семестрі виноситься по 12 тестових завдань, у ролі яких використовується Пакет комплексних контрольних робіт для оцінювання якості підготовки магістрів з дисципліни «Теорія робочих процесів двигунів внутрішнього згорання».

Кількість правильних відповідей	11...12	9...10	7...8	6	5	4	3	2	1
Бал	18	16	14	12	10	8	6	4	2

2-й семестр

Форма контролю	Максимальна кількість балів	
	денна форма навчання	заочна форма навчання
Виконання практичних робіт	6 робіт $\times$ 4 бали = 24 бали	6 робіт $\times$ 4 бали = 24 бали
Поточний модульний контроль	2 МКР $\times$ 18 балів = 36 балів	—
Виконання контрольних робіт	—	1 робота $\times$ 36 балів = 36 балів
Всього	60	60

Підсумковий контроль у формі екзамену (1-й та 2-й семестри)

Підсумковий контроль (екзамен) для кожного семестру складається з письмових відповідей на 4 контрольні питання, перелік яких наведено у додатку 1.

Письмова відповідь (1 питання – 10 балів)

Бал	Критерії оцінювання
10	Відповідь правильна, повна, логічна, містить аналіз, систематизацію, узагальнення, використані міжпредметні зв'язки, містить аргументовані висновки
8	Відповідь у цілому правильна, достатньо повна, логічна; допущені несуттєві помилки та неточності у викладенні матеріалу
6	Відповідь частково правильна, містить неточності, недостатньо обґрунтована
4	Відповідь має суттєві помилки, аргументи несформульовані, використовується невірна термінологія
2	Відповідь містить значну кількість суттєвих помилок, не обґрунтована
0	ЗВО не дає відповіді

8. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Номер модуля	Номер змістового модуля	Номер теми	Денна форма навчання		Заочна форма навчання	
			Вид роботи	Кількість балів	Вид роботи	Кількість балів
1	2	3	4	5	6	7
1-й семестр						
М1	ЗМ1	T1	—	—	—	—
		T2	—	—	—	—
	ЗМ2	T3	Лабораторна робота № 1	0...4	Лабораторна робота № 1	0...4
		T4	Лабораторна робота № 2	0...4	Лабораторна робота № 2	0...4
	Поточний контроль		МКР № 1	0...18	—	—
	ЗМ3	T5	—	—	—	—
		T6	—	—	—	—
	ЗМ4	T7	Лабораторна робота № 3	0...4	Лабораторна робота № 3	0...4
			Лабораторна робота № 4	0...4	Лабораторна робота № 4	0...4
		T8	Лабораторна робота № 5	0...4	—	—
			Лабораторна робота № 6	0...4	—	—
	Поточний контроль		МКР № 2	0...18	—	—
	—		—	—	Контрольна робота	0...44

Продовження таблиці

1	2	3	4	5	6	7
	Підсумковий контроль		Екзамен (письмова відповідь)	0...40	Екзамен (письмова відповідь)	0...40
	Сума			0...100		0...100
2-й семестр						
МЗ	ЗМ 5	T9	—	—	—	—
		T10	Практична робота № 1	0...4	Практична робота № 1	0...4
	ЗМ 6	T11	Практична робота № 2	0...4	Практична робота № 2	0...4
		T12	Практична робота № 3	0...4	Практична робота № 3	0...4
	Поточний контроль		МКР № 1	0...18	—	—
	ЗМ 7	T13	Практична робота № 4	0...4	Практична робота № 4	0...4
		T14	Практична робота № 5	0...4	Практична робота № 5	0...4
		T15	Практична робота № 6	0...4	Практична робота № 6	0...4
	Поточний контроль		МКР № 2	0...18	—	—
	-	—	—	Кон-трольна робота	0...36	
	Підсумковий контроль		Екзамен (письмова відповідь)	0...40	Екзамен (письмова відповідь)	0...40
	Сума			0...100		0...100

Критерії оцінювання виконання курсового проєкту

Пояснювальна записка	ІНДЗ	Графічна частина	Захист проєкту	Сума
до 20	до 20	до 20	до 40	до 100

9. ЗАСОБИ НАВЧАННЯ

При вивченні даної дисципліни використовуються такі засоби навчання:

- технічні засоби (мультимедіа-, відео- та звуковідтворююча, проєкційна апаратура);
- програмне забезпечення (CAD/CAM-системи автоматизованого проєктування/системи автоматизованого виробництва; програмні рішення відкритого доступу для вирішення інженерних і дослідницьких задач: Blitz-PRO is the Internal Combustion Engines operating cycle simulation tool, focused on in-cylinder and gas-exchange processes; WinGD's General Technical Data (GTD) application provides information to plan the layout of WinGD low-speed engines; MAN CEAS engine calculations);
- бібліотечні фонди (зокрема ресурси віддаленого доступу Наукової бібліотеки Національного університету кораблебудування до електронної бібліотечної системи та наукових, науково-метричних баз даних).

10. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

Основна література

1. Дьяченко В.Г. Двигуни внутрішнього згоряння. Теорія : підручник / В.Г. Дьяченко ; за ред. А.П. Марченка. – Харків : НТУ «ХПІ», 2008. – 488 с. [Електронний варіант]
2. Наливайко В.С. Основи комп'ютерного проектування ДВЗ : навчальний посібник для поглибленого вивчення курсу та отримання практичних навичок при створенні математичних моделей процесів ДВЗ та конструкції окремих вузлів і деталей для ЗВО / В.С. Наливайко, С.Г. Ткаченко, В.С. Хоменко, Р.Ю. Авдюнін. – Миколаїв : видавець Торубара В. В., 2017. – 138 с.
3. Chiodi M. An innovative 3D-CFD-Approach towards Virtual Development of Internal Combustion Engines. – Germany : Vieweg+Teubner Verlag, 2011. – 278 p.
4. Günter P. Combustion Engines Development. – Berlin, New York : Springer, 2012. – 642 p.
5. Günter P. Modeling Engine Spray and Combustion Processes (Heat and Mass Transfer). – Berlin, Germany : Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. KG, 2003. – 297 p.
6. Günter P. Simulating Combustion: Simulation of combustion and pollutant formation for engine-development. – Germany : Springer, 2005. – 426 p.
7. Rolf Isermann Engine Modeling and Control: Modeling and Electronic Management of Internal Combustion Engines. – Berlin : Springer, 2014. – 658 p.

Допоміжна література

8. Мінчев Д.С. Інформаційні основи систем автоматизованого проектування двигунів внутрішнього згоряння: планування та обробка результатів експерименту : навч. посіб. /

Д.С. Мінчев, А.В. Нагірний. – Миколаїв : Видавництво НУК, 2012. – 100 с.

9. Мінчев Д.С. Експериментальні дослідження робочого процесу та характеристик дизельних двигунів : навч. посіб. / Д.С. Мінчев, А.В. Нагірний. – Миколаїв : Видавництво НУК, 2017. – 165 с.

10. Наливайко В.С. Суднові двигуни внутрішнього згоряння : підручник для ЗВО ВНЗ / В.С. Наливайко, Б.Г. Тимошевський, С.Г. Ткаченко. – Миколаїв : Торубара В.В. [вид.], 2015. – 331 с.

11. Триньов О.В. Локальне охолодження теплонапружених деталей ДВЗ : навчальний посібник / О.В. Триньов. – К. : Видавничий дім «Кондор», 2018. – 212 с.

12. Гашук П. Теплотворення й теплоспоживання в двигуні швидкого внутрішнього згоряння : монографія / П. Гашук, С. Нікіпчук. – К. : Видавничий дім «Кондор», 2021. – 324 с.

13. Захарчук В.І. Основи теорії та конструкції автомобільних двигунів : навч. посібник для студентів ЗВО / В.І. Захарчук. – К. : Видавництво «Каравела», 2022. – 236 с.

14. Colin R.F., Kirkpatrick A.T. Internal combustion engines : applied thermosciences (Third edition). – India : Thomson Digital, 2016. – 455 p.

15. Kirkpatrick A.T. Internal combustion engines : applied thermosciences (Fourth edition). – USA : CPI Group (UK) LTD, Croydon, 2020. – 631 p.

16. John B. Heywood Internal Combustion Engine Fundamentals (Second edition). – USA : McGraw-Hill Education, 2018. – 999 p.

17. Ткаченко С.Г. Вибір раціональних співвідношень розмірів деталей та розрахункове дослідження процесів двигуна за допомогою методів комп'ютерного проектування : методичні вказівки до курсової роботи / С.Г. Ткаченко, В.С. Хоменко, Р.Ю. Авдюнін. – Миколаїв : видавець Торубара В.В., 2016. – 32 с.

18. Андреев А.А. Комп'ютерні технології у теплотехнічних розрахунках. Частина I : навчальний посібник / А.А. Андреев,

О.М. Дудченко, С.А. Лой, В.В. Спіхтаренко, В.С. Цвікліс. – Херсон : Грінь Д.С., 2014. – 244 с.

19. Marco Chiodi An Innovative 3D-CFD-Approach towards Virtual Development of Internal Combustion Engines : Vieweg+Teubner Verlag Wiesbaden, 2011. – 245 p.

20. Sara McAllister, Jyh-Yuan Chen, A. Carlos Fernandez-Pello Fundamentals of Combustion Processes. – New York : Springer, 2011. – 304 p.

21. Lakshminarayanan P.A., Yogesh V. Aghav Modelling Diesel Combustion. – Singapore : Springer, 2023. – 406 p.

22. Наливайко В.С. Суднові двигуни внутрішнього згоряння : методичні вказівки / В.С. Наливайко, С.Г. Ткаченко, В.С. Хоменко. – Миколаїв : НУК, 2012. – 72 с.

23. Qirui Yang. A Quasi-dimensional Charge Motion and Turbulence Model for Combustion and Emissions Prediction in Diesel Engines with a fully Variable Valve Train Vieweg. – Wiesbaden : Springer, 2021. – 141 p.

24. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т. 5. Екологізація ДВЗ : підручник для ЗВО ВНЗ, що навчаються за напрямом «Інженерна механіка» / за редакцією проф. А.П. Марченка, засл. діяча науки України проф. А.Ф. Шеховцова. – Харків : Вид. центр НТУ «ХПІ», 2004. – 466 с.

25. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т. 1. Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин / за редакцією проф. А.П. Марченка, засл. діяча науки України, проф. А.Ф. Шеховцова. – Харків : Вид. центр НТУ «ХПІ», 2004. [Електронний варіант]

26. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т. 6. Надійність ДВЗ / за редакцією проф. А.П. Марченка, засл. діяча науки України, проф. А.Ф. Шеховцова. – Харків : Вид. центр НТУ «ХПІ», 2004. [Електронний варіант]

27. Mollenhauer K., Tschoeke H. Handbook of Diesel Engine. – Berlin : Springer-Verlag, 2010. – 636 p.

Інформаційні ресурси

1. Наукова бібліотека Національного університету кораблебудування: <http://lib.nuos.edu.ua/> (інструкції з доступу):
 - 1.1. Підручники, навчальні посібники:
 - видавництво «Олді+»: <http://ebooks.oldiplus.ua/> (за IP-адресами НУК, ХННІ НУК)
 - видавництво Bentham Science на платформі Edanz: <https://www.edanz.com/>
 - 1.2. Міжнародні наукові та науково-метричні бази:
 - Access Global NewsBank 2021: <https://infoweb.newsbank.com/apps/news/easy-search?p=AWGLNB>
 - Elsevier: <https://www.elsevier.com/>
 - Web of Science: <http://webofknowledge.com>
 - EBSCOhost: <http://search.ebscohost.com>
 - Springer: <https://link.springer.com/>
2. WorldScientificOpen is in full compliance with the latest open access mandates so authors can ensure their research is freely available online, freely redistributed and reused: <http://www.worldscientific.com/>
3. Сайт Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова: <http://www.nuos.edu.ua/>
4. Репозитарій НУК: <http://eir.nuos.edu.ua/>
5. Сайт кафедри «Двигуни внутрішнього згоряння, установки та технічна експлуатація» (ДВЗ, У та ТЕ) МННІ НУК: <http://ice-nuos.com/>
6. Blitz-PRO (Internal Combustion Engines operating cycle simulation tool): <http://blitzpro.zeddmalam.com/application/index/signin>
7. Конференції НУК: <http://conference.nuos.edu.ua/catalog/>
8. Сайт ХННІ НУК: <http://kb.nuos.edu.ua/>
9. Сайт НТУ ХПІ: <http://www.kpi.kharkov.ua/>

Морські класифікаційні товариства:

10. Класифікаційне товариство Регістр судноплавства України (каталог видань): <http://shipregister.ua/books/index.html>
11. Lloyds Register of Shipping: <http://www.lr.org/en/>
12. China Classification Society: <http://www.ccs.org.cn/ccswz/>
13. Germanischer Lloyd: <https://www.dnvgi.de/>
14. Polski Rejestr Stratkow – Polish Register of Shipping: <https://www.prs.pl/>
15. Міжнародна морська організація (International Maritime Organization): <http://www.imo.org/en/Pages/Default.aspx>
16. National Marine Manufacturers Association (NMMA): <https://www.nmma.org/>

Провідні двигунобудівні фірми:

17. Society of Automotive Engineers (SAE): <http://www.sae.org/>
18. Сайт Wartsila: <https://www.wartsila.com/>
19. Wärtsilä Encyclopedia of Marine Technology: <https://www.wartsila.com/encyclopedia>
20. Technology: <https://www.wartsila.com/encyclopedia>
21. General Technical Data is an engine simulation tool: <https://www.wingd.com/en/media/general-technical-data/>
22. Сайт MAN Diesel: <https://www.man-es.com/>
23. MAN Two-stroke project guides: <https://www.man-es.com/marine/products/planning-tools-and-downloads/project-guides/two-stroke>
24. CEAS engine calculations: <https://www.man-es.com/marine/products/planning-tools-and-downloads/ceas-engine-calculations>
25. Сайт Caterpillar: <http://www.caterpillar.com/ru.html>
26. Сайт Mitsubishi: <http://www.mhi.co.jp/>
27. Сайт Akasaka Diesels Ltd: <http://www.akasaka-diesel.jp/en/>
28. Сайт Daihatsu Diesel: <http://www.dhtd.co.jp/ja/index.html>
29. Сайт Niigata: <http://www.niigata-power.com/english/index.html>
30. Сайт Anglo Belgian Corporation (ABC DIESEL) <https://www.abc-engines.com/>

ДОДАТОК 1

Питання до модульного контролю

Модуль 1. Розрахункове дослідження процесів повітропостачання, проходження відокремленого індикаторного циклу, сумішоутворення та згоряння палива для різних типів ДВЗ

1. Дати визначення відкритої та ізольованої термодинамічної системи. Навести основні відмінності.
2. Поняття математичної моделі в розрахунках ДВЗ.
3. Які параметри впускного тракту впливають на опір впускного клапана?
4. Відокремлений індикаторний процес. На яких законах базується розрахунок проходження індикаторного циклу?
5. Дайте перелік основних вхідних даних, що характеризують проходження індикаторного циклу. На яких законах базується розрахунок проходження індикаторного циклу?
6. Чим відрізняється істинна теплоємність робочого тіла від середньої?
7. З яких процесів складається проходження теплових потоків (втрат) через стінки циліндра?
8. Що впливає на коефіцієнт тепловіддачі від газів до стінки циліндра?
9. Який параметр у процесі теплопередачі є головним у визначенні коефіцієнта теплопередачі?
10. У чому відмінність між розрахунковою формулою та алгоритмом?
11. Які з цих двох коефіцієнтів (коефіцієнт тепловіддачі від газів до стінки і коефіцієнт тепловіддачі від поверхні втулки до рідини) чинить більший вплив на процес теплопередачі?
12. Як впливає форма камери згоряння на сумішоутворення для різних типів двигунів?
13. Чим характеризується якість розпилювання палива?

14. Які чинники впливають на діаметр розпилювання палива?
15. Основні фактори, що впливають на довжину та діаметр паливного факелу.
16. Яка відмінність між кутом випередження подачі впорскування від кута випередження спалаху?
17. Що впливає на індикаторний ККД, якщо: паливо буде спалюватись до верхньої мертвої точки (ВМТ); у ВМТ; після ВМТ? В яких випадках індикаторний ККД буде більшим?
18. Що покладено в основу закону вигорання палива від кута повороту колінчастого вала?
19. Однозонна модель згорання палива у межах камери згорання. Які ще існують схеми розрахунку за кількістю зон для процесу згорання?
20. Який вид теплообміну (конвекційний чи радіаційний) для циліндра ДВЗ є переважаючим?
21. З якою метою використовується двостадійне впорскування палива?
22. Що таке період індукції для палива?
23. Які процеси з паливом відбуваються за його період індукції?
24. Одностадійне спалахування палива.
25. Багатостадійне спалахування палива.
26. Як впливає на роботу ДВЗ власна індукція палива?
27. Визначення енергії активації палива. Основні закони та залежності.
28. Кінетичні рівняння вигорання палива відповідно до методики Н.Ф. Разлейцева. Моделювання вигорання парів палива, які утворилися за період затримки займання. Коефіцієнт використання повітряного заряду. Згорання палива за період подачі та догорання палива.
29. Основна сутність феноменологічних моделей згорання палива в дизелі. Зробити порівняльний аналіз існуючих феноменологічних моделей.
30. Як пояснити, що при згоранні палива при високій температурі це процес поглинання теплової енергії, а при подальшому (процесі розширення) проходить зворотний процес

віддачі теплоти в циліндрі за рахунок асоціації атомів молекул? У той же час прийнято вважати, що процес втрати теплоти із циліндра є незворотним.

Модуль 3. Розрахункове дослідження процесів теплопередачі через стінки циліндра, випуску відпрацьованих газів і моделювання узагальненого робочого процесу в турбопоршневих двигунах

1. Дати визначення відкритої термодинамічної системи. Записати перший закон термодинаміки для відкритої термодинамічної системи в диференціальній формі.
2. Опишіть основні особливості нульвимірного квазістаціонарного представлення робочих процесів у циліндрі двигуна і сполучних колекторах. Запишіть базову систему рівнянь. Переваги та недоліки даного підходу.
3. Принципи побудови дво- і багатозонних моделей робочого процесу в рамках нульвимірного квазістаціонарного підходу.
4. Особливості побудови математичної моделі робочого процесу зі змінним кроком по куту повороту колінчастого вала.
5. Числові методи інтегрування при синтезі індикаторного циклу: метод Ейлера, Рунге-Кутта 4-го порядку, неявний метод Рунге-Кутта. Виконати порівняння.
6. Теплообмін у циліндрі ДВЗ. Види теплообміну. Рівняння для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі від робочого тіла до стінки циліндра. Огляд і порівняння.
7. Методи розрахунку температури вогневої поверхні робочого циліндра і колекторів системи наддуву в рамках загальної математичної моделі.
8. Запишіть рівняння тепловиділення Вібе. Визначте параметри, що регулюються. Дайте визначення характеру процесу згоряння m . Поясніть хімічний сенс активних центрів реакції.
9. Модель паливного факела і його структура. Характеристики розпилювання палива. Динаміка паливного факела, рівняння

Лишевського. Взаємодія паливного факела зі стінками циліндрів.

10. Випаровування палива в умовах робочого циліндра дизеля. Рівняння Срезневського. Характеристики випаровування палива і способи їх розрахунку. Вплив взаємодії паливного факела зі стінками камери згоряння на параметри випаровування палива.
11. Багатофазне впорскування палива в дизельних двигунах. Область застосування, основні цілі, що ставляться конструкторами при використанні багатофазного впорскування.
12. Дайте визначення PCCI (Premixed Charge Compression Ignition) процесу, його вплив на еколого-економічні показники роботи ДВЗ.
13. Які переваги надає розрахунок відокремленого індикаторного циклу над узагальненим робочим процесом двигуна?
14. На яких базових законах ґрунтується термодинамічна модель відокремленого індикаторного циклу?
15. Як відобразиться на роботі двигуна зміна кута випередження подачі палива?
16. З якою метою сучасні двигуни виконуються з напіввиносними робочими втулками циліндрів?
17. Шляхи зменшення термічних напружень сучасних двигунів при збереженні механічної міцності днища поршня та кришки циліндра.
18. Яке рівняння використовується при створенні математичної моделі «механічно вільного» випускного клапана у системах газообміну двотактних двигунів?
19. Чим відрізняється процес теплопередачі через втулку циліндра на першій половині ходу поршня та другій половині ходу поршня в процесі стиснення заряду циліндра?
20. Яка основна причина прогорання клапанів двигуна?
21. Як пояснити, що дисоціація молекул газу в період згоряння палива є ендотермічним процесом?
22. З якою метою бензинові двигуни проєктують на роботу зі значенням коефіцієнта надлишку повітря менше одиниці?

23. Чим відрізняється коефіцієнт виділення теплоти від коефіцієнта використання теплоти?
24. Визначення часу-перетину клапанів ДВЗ: три ділянки по величині підйому клапана. Визначення і спосіб розрахунку коефіцієнта витрати клапана.
25. Методика розрахунку масового обміну між відкритими термодинамічними системами в рамках уявлення про енергоізований конфузор.
26. Особливості використання характеристик турбокомпресора в складі замкнутої математичної моделі робочого циклу ДВЗ. Витратна характеристика компресора і характеристика ефективності компресора: методика екстраполяції експериментальних ізотів.
27. Особливості використання характеристик турбокомпресора в складі замкнутої математичної моделі робочого циклу ДВЗ. Характеристика компресора і турбіни: використання коефіцієнтів для підгонки характеристик під конкретні параметри поршневої частини двигуна.
28. У зв'язку з чим індикаторний ККД циклу ДВЗ значно перевищує індикаторний ККД циклів усіх інших відомих теплових двигунів?
29. Як впливає на коефіцієнт тепловіддачі агрегатний стан рухомого середовища: рідина чи газ?
30. Чим характеризується індикаторний процес у будь-якій точці його проходження?

ДОДАТОК 2

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Херсонський навчально-науковий інститут

Кафедра суднового машинобудування
та енергетики

КУРСОВИЙ ПРОЄКТ

з дисципліни «Теорія робочих процесів двигунів
внутрішнього згоряння»

_____ (назва дисципліни)

на тему:

_____ $(Ne = \text{_____ кВт, } n = \text{_____ хв.}^{-1})$

Здобувач(ка) вищої
освіти I курсу _____ групи
спеціальності 142 «Енергетичне
машинобудування»
освітньої програми «Двигуни
внутрішнього згоряння»

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник _____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна шкала _____
Кількість балів: _____ Оцінка: ECTS _____

Члени комісії	_____	_____
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
	_____	_____
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
	_____	_____
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

м. Херсон – 202__ рік

ДОДАТОК 3

**Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Херсонський навчально-науковий інститут**

«Затверджую»
Завідувач кафедри СМЕ, професор
_____ Андрєєв А.А.
«__» _____ 202__ р.

ЗАВДАННЯ

**до виконання курсового проєкту з дисципліни
«Теорія робочих процесів двигунів внутрішнього згоряння»
спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»
освітньої програми «Двигуни внутрішнього згоряння»**

Тема проєкту: «_____»

Вихідні дані:

Потужність двигуна	$N_e =$	кВт;
Частота обертання	$n =$	хв ⁻¹ ;
Діаметр циліндра	$D_{ц} =$	м;
Хід поршня	$S =$	м;
Кількість циліндрів	$i =$	;
Тактність двигуна	$z =$	.

ЗМІСТ ПРОЄКТУ

РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Перелік прийнятих скорочень.

Вступ (1...2 стор.).

Розділ 1. Аналіз літературних джерел і технічної документації відповідно до теми курсового проєкту.

Розділ 2. Стислий опис двигуна внутрішнього згорання. Діаметр і хід поршня. Форма камери згорання. Конструкція остову двигуна (розміри втулки циліндра та її конструктивні особливості).

Розділ 3. Вибір та обґрунтування вихідних даних для попереднього розрахунку робочого циклу за допомогою метода Гренівецького-Мазінга.

Розділ 4. Розрахунок робочого процесу методом Гренівецького-Мазінга.

Розділ 5. Вибір та обґрунтування вихідних даних для моделювання відокремленого індикаторного циклу двигуна.

Розділ 6. Проведення моделювання на основі індивідуального розрахункового науково-дослідного завдання _____

Розділ 7. Аналіз отриманих результатів розрахунку.

Розділ 8. Порівняння отриманих результатів розрахунку з даними двигунобудівних заводів. Оцінка можливості корегування та оптимізації запропонованих способів розрахунку циклу ДВЗ.

Висновки.

Список використаних літературних джерел.

ОБСЯГ ПРОЄКТУ ТА ОСНОВНІ ВИМОГИ

Розрахунково-пояснювальна записка (30...40 сторінок машинописного тексту) має містити обґрунтування вихідної інформації, розрахунки, графіки, ескізи, елементи аналізу та досліджень щодо теорії робочих процесів двигунів внутрішнього згорання.

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА ПРОЄКТУ

1. Основні дані двигуна, його характеристики, принципова схема розрахунку – 1 аркуш формату А1.
2. Конструктивна схема деталей двигуна, в межах яких проходить дослідний процес – 1 аркуш формату А1.
3. Розрахункова схема та алгоритм дослідження для створення комп'ютерної програми. Основні результати дослідження – 1 аркуш формату А1.

Оформлення курсового проєкту здійснюється у відповідності з вимогами ЄСКД та ДСТУ.

Завдання видано

«____» _____ 202__ р.

Термін захисту проєкту

«____» _____ 202__ р.

Виконавець: здобувач(ка) вищої освіти групи

(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

ДОДАТОК 4

Перелік тем до курсового проєктування

У таблицях 4.1–4.7 наведені основні технічні дані сучасних суднових двигунів.

Таблиця 4.1 – Основні дані сучасних двотактних малооборотових дизелів (МОД) фірми “MAN B&W Diesel Group”

№ з/п	Марка двигуна	Діаметр циліндра $D_{ц}$, мм	Хід поршня S , мм	Циліндрова потужність двигуна $N_{цп}$, кВт	Частота обертання колінчастого валу n , хв. ⁻¹	Питома ефективна витрата палива g_e , кг/(кВт·годину)	Ступінь стиснення (дійсна) ε_0	Параметр КШМ $\lambda_{ш}$	Питома маса деталей КШМ, що рухаються поступально m_s , кг/м ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	S26MC6-ТII	260	980	400	250	0,181	14,8	0,42	11200
2	L35MC6-ТII	350	1050	650	210	0,179	14,8	0,41	13400
3	S40ME-B9-ТII	400	1770	1135	146	0,175	14,8	0,50	13500
4	S42MC7-ТII	420	1764	1080	136	0,179	14,8	0,50	13000
5	G45ME-C9.7-ТIII	450	2250	1390	111	0,171	14,5	0,50	13000
6	S46ME-B8-ТII	460	1932	1380	129	0,173	14,5	0,50	13000
7	S50ME-B9-ТII	500	2214	1780	117	0,170	14,5	0,50	13200
8	G50ME-C9.6	500	2500	1720	100	0,170	14,5	0,50	13200
9	L60ME-C7-ТII	600	2022	2230	123	0,172	14,5	0,43	15567
10	S60MC6-ТII	600	2292	2040	105	0,175	14,5	0,46	16200
11	S60ME-C8-ТII	600	2400	2380	105	0,171	14,5	0,50	16500
12	G60ME-C9-ТII	600	2790	2680	97	0,168	—	—	—
13	G60ME-C10.5-ТII	600	2790	2840	103	0,165	14,5	0,50	16500
14	S65ME-C8-ТII	650	2730	2870	95	0,171	14,5	0,49	16200
15	L70ME-C8-ТII	700	2360	3270	108	0,172	14,5	0,44	17200
16	S70MC6-ТII	700	2674	2810	91	0,175	14,5	0,46	17700

Продовження таблиці

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
17	S70ME-C7-TII	700	2800	3110	91	0,171	14,5	0,50	18300
18	G70ME-C9-TII	700	3256	3640	83	0,168	14,5	0,50	18300
19	G70ME-C10.5-TII	700	3260	3100	78	0,163	14,5	0,52	18300
20	K80ME-C6-TII	800	2300	3610	104	0,174	14,5	0,50	20160
21	S80MC6-TII	800	3056	3640	79	0,174	14,5	0,42	20160
22	S80ME-C8-TII	800	3200	4180	78	0,170	14,5	0,42	20100
23	S80ME-C9-TII	800	3450	4510	78	0,170	14,5	0,42	20100
24	G80ME-C9-TII	800	3720	4450	68	0,167	14,5	0,50	20250
25	G80ME-C10.5	800	3720	4710	72	0,164	14,5	0,52	20250
26	K90MC-C6-TII	900	2300	4570	104	0,177	14,5	0,50	21500
27	K90ME-C6-TII	900	2300	4570	104	0,174	14,5	0,50	21500
28	K90ME9-TII	900	2870	5720	94	0,174	14,5	0,50	21500
29	S90ME-C8-TII	900	3188	5270	78	0,170	14,5	0,50	21500
30	S90ME-C9-TII	900	3260	5810	84	0,167	14,5	0,48	21500
31	G90ME-C10.5	900	3260	6240	84	0,168	14,5	0,48	21500
32	G95ME-C10.5	950	3460	6870	80	0,165	14,5	0,46	22750
33	K98MC6-TII	980	2660	5720	94	0,177	14,5	0,42	24580
34	K98ME-C7-TII	980	2400	6020	104	0,174	14,5	0,42	24581
35	K108ME-C-TII	1080	2660	6950	94	0,171	14,5	0,42	26100

Таблиця 4.2 – Основні дані сучасних МОД фірми “Wartsila Corporation”

№ з/п	Марка двигуна	Діаметр циліндра $D_{ц}$, мм	Хід поршня S , мм	Циліндрова потужність двигуна $N_{ер}$, кВт	Частота обертання колінчастого валу n , хв. ⁻¹	Питома ефективна витрата палива g_e , кг/(кВт·годину)	Ступінь стиснення (дійсна) ϵ_o	Параметр КШМ $\lambda_{ш}$	Питома маса деталей КШМ, що рухаються поступально m_3 , кг/м ²
1	RT-flex 35	350	1550	870	142	0,176	14,8	0,50	12750
2	X35-B	350	1550	870	167	0,175	14,8	0,50	12750
3	RT-flex 40	400	1770	1135	146	0,175	14,8	0,50	13000
4	X40-B	400	1770	1135	146	0,174	14,8	0,50	13000
5	RT-flex 48T (D)	480	2000	1455	127	0,170	14,5	0,50	13200
6	RT-flex 50 (D)	500	2050	1745	124	0,170	14,5	0,50	13200
7	X52	520	2315	1810	105	0,167	14,5	0,50	13600
8	RT-flex 58T (E)	580	2416	2350	105	0,169	14,5	0,50	16500
9	RT-flex 60C (B)	600	2250	2420	114	0,171	14,5	0,50	16700
10	Wartsila X62	620	2858	2660	103	0,168/ 0,167	14,5	–	–
11	X62-B	620	2858	2900	103	0,167/ 0,166	14,5	0,50	17200
12	RT-flex 68 (D)	680	2720	3130	95	0,170	14,5	0,50	18500
13	Wartsila X72	720	3086	3610	89	0,168/ 0,167	14,5	0,50	–
14	X72-B	720	3086	3920	89	0,167/ 0,166	14,5	0,50	18900
15	RT-flex 82C	820	2646	4520	102	0,173/ 0,171	14,5	0,46	–
16	RT-flex 82T (B)	820	3375	4750	84	0,168/ 0,166	14,5	0,50	20100
17	X82-B	820	3375	4750	84	0,165/ 0,163	14,5	0,50	20400
18	RT-flex 84T (D)	840	3150	4200	76	0,171	14,5	0,48	21250
19	X92-B	920	3468	6450	80	0,166/ 0,165	14,5	–	–
20	RT-flex 96C (B)	960	2250	5720	102	0,172	14,5	0,42	23000

Таблиця 4.3 – Основні дані сучасних МОД фірми “Mitsubishi Heavy Industries Ltd”

№ з/п	Марка двигуна	Діаметр циліндра $D_{ц}$, мм	Хід поршня S , мм	Циліндрова потужність двигуна $N_{ев}$, кВт	Частота обертання колінчастого валу n , хв. ⁻¹	Питома ефективна витрата палива g_e , кг/(кВт·годину)	Ступінь стиснення (дійсна) ε_0	Параметр КПМ $\lambda_{и}$	Питома маса деталей КПМ, що рухаються поступально m_3 , кг/м ²
1	UEC33LSII-Eco	330	1050	570	215	179	14,8	0,40	13400
2	UEC35LSE-B1	350	1550	870	167	177	14,8	0,40	13500
3	UEC37LA	370	3700	520	210	175	14,8	0,40	13600
4	UEC37LSII-Eco	370	1290	810	186	177	14,8	0,40	13600
5	UEC40LSE-Eco-B1	400	1770	1135	146	174	14,7	0,45	13700
6	UEC43LSII-Eco	430	1500	1050	160	175	14,7	0,45	13700
7	UEC45LA	450	1350	890	158	170	14,6	0,45	13700
8	UEC45LSE-Eco-1	450	1840	1245	130	172	14,6	0,45	13700
9	UEC50LSE-Eco-A1	500	2050	1660	124	170	14,6	0,50	13850
10	UEC50LSII	500	1950	1445	127	171	14,6	0,50	13850
11	UEC52LA	520	1600	1180	133	167	14,6	0,50	14000
12	UEC52LS	520	1850	1330	120	167	14,6	0,50	14000
13	UEC52LSE-Eco-1	520	2000	1705	127	170	14,6	0,50	14000
14	UEC60LA	600	1900	1550	110	166	14,6	0,45	14500
15	UEC60LS	600	2200	1770	100	166	14,6	0,45	14500
16	UEC60LSE-Eco-1	600	2400	2255	105	168	14,6	0,45	14500
17	UEC60LSII-Eco	600	2300	2045	105	167	14,6	0,45	14500
18	UEC68LSE-Eco-1	680	2690	2940	95	167	14,6	0,50	15500
19	UEC75LSII	750	2800	2940	84	165	14,5	0,50	19200
20	UEC80LSE-Eco-B1	800	3150	4440	80	166	14,5	0,50	19200
21	UEC85LSII	850	3150	3860	76	170	14,5	0,50	20500

Таблиця 4.4 – Основні дані сучасних середньообертових дизелів (СОД) фірми “Wartsila Corporation”

№ з/п	Марка двигуна	Діаметр циліндра $D_{ц}$, мм	Хід поршня S , мм	Циліндрова потужність двигуна $N_{ер}$, кВт	Частота обертання колінчастого валу n , хв. ⁻¹	Питома ефективна витрата палива g_e , кг/(кВт·годину)	Ступінь стиснення (дійсна) ε_o	Параметр КШМ $\lambda_{ш}$	Питома маса деталей КШМ, що рухаються поступально m_s , кг/м ²
1	Wartsila 20/28	200	280	200	1000	0,185	15,0	0,21	900
2	Wartsila 20/28DF	200	280	176	1200	0,199	15,0	0,21	950
3	Wartsila V26/32	260	320	340	1000	0,185	15,0	0,22	1100
4	Wartsila L32/40	320	400	500	750	0,176	14,5	0,22	1200
5	Wartsila V34/40DF	340	400	450	750	–	14,0	0,22	1520
6	Wartsila L38/47,5	380	475	725	750	0,176	14,5	0,24	1300
7	Wartsila V46/58	460	580	1050	500/ 514	0,173	14,5	0,24	1400
8	Wartsila L46/58F	460	580	1200	600	0,170	14,5	0,24	1450
9	Wartsila V50/58DF	500	580	950/ 975	500/ 514	–	14,5	0,23	1500
10	Wartsila L64/90	640	580	2150	327,3/ 333,3	0,164	14,5	0,24	16200

Таблиця 4.5 – Основні дані сучасних СОД фірми “MAN B&W Diesel Group”

№ з/п	Марка двигуна	Діаметр циліндра $D_{ц}$, мм	Хід поршня S , мм	Циліндрова потужність двигуна $N_{ер}$, кВт	Частота обертання колінчастого валу n , хв. ⁻¹	Питома ефективна витрата палива g_e , кг/(кВт·годину)	Ступінь стиснення (дійсна) ε_o	Параметр КШМ $\lambda_{ш}$	Питома маса деталей КШМ, що рухаються поступально m_s , кг/м ²
1	L21/31	210	310	215	1000	0,195	15,0	0,250	1000
2	L27/38MGO	270	380	365	800	0,190	15,0	0,250	1067
3	V28/33D STC “Ferry”	280	330	455	1000	0,190	14,5	0,250	1100
4	V32/40	320	400	500	750/ 720	0,183/ 0,185	14,7	0,245	1250
5	V32/44CR	320	440	560	750/ 720	0,178	14,5	0,246	1250
6	S.E.M.T. Pielstick PC2.6 B	400	460	750	600	—	14,5	0,24	1300
7	V48/60CR	480	600	1200	514/ 500	0,177	14,0	0,240	1400
8	L51/60DF	510	600	1000/ 975	514/ 500	0,184	14,0	0,241	1400
9	L58/64	580	640	1400	428	0,185	14,0	0,240	1540

Таблиця 4.6 – Основні дані сучасних суднових СОД фірми “Caterpillar”

№ з/п	Марка двигуна	Діаметр циліндра D_{cp} , мм	Хід поршня S , мм	Циліндрова потужність двигуна N_{ep} , кВт	Частота обертання колінчастого валу n , хв. ⁻¹	Питома ефективна витрата палива g_e , кг/(кВт-годину)	Ступінь стиснення (дійсна) ε_o	Параметр КПМ λ_{ui}	Питома маса деталей КПМ, що рухаються поступально m_s , кг/м ²
1	МАК М 20 С	200	300	190	1000	0,190	15,1	0,24	1250
2	МАК М 25 С	255	400	333	750	0,184	15,1	0,24	1350
3	МАК LM 32 С	320	480	500	600	0,179	15,0	0,24	1370
4	МАК М 43 С	320	600	1000	514	0,177	15,0	0,25	1400

Таблиця 4.7 – Основні дані сучасних суднових двигунів вітчизняного та закордонного виробництва

№ з/п	Марка двигуна	Діаметр циліндра $D_{ц}$, мм	Хід поршня S , мм	Циліндрова потужність двигуна $N_{цл}$, кВт	Частота обертання колінчастого валу n , хв. ⁻¹	Питома ефективна витрата палива g_e , кг/(кВт·годину)	Ступінь стиснення (дійсна) ε_o	Параметр КШМ $\lambda_{ш}$	Питома маса деталей КШМ, що рухаються поступально m_s , кг/м ²
1	4ЧСПН9,5/11	95	110	14	1960	0,290	16	0,200	950
2	6ЧН12/14	120	140	20	1550	0,245	15,5	0,283	950
3	3Д6Н (6ЧН15/18)	150	180	18,4	1500	0,262	15,0	0,300	800
4	М507 (56ЧНСП16/17)	160	170	65,7	2000	0,231	15,5	0,210	1200
5	10Д20,7/2х25,4 (Д100)	207	2х254	132,4	810	0,231	16,0	0,180	1100
6	211Д (6ЧН21/21)	210	210	92	1400	0,218	16,0	0,254	1950
7	8ЧН23/30	230	300	55,2	750	0,216	12,5	0,280	1950
8	6ЧН25/34	250	340	50	500	0,224	12,0	0,246	1850
9	6ЧН26/34	260	340	75	750	0,217	12,5	0,250	1900
10	16ЧН26/27 (10Д80)	260	270	187,5	1000	0,230	12,6	0,240	1520
11	Д49 (16ЧН26/26)	260	260/ 262	127	1000	0,218	12,5	0,235	1470
12	61В (ДРПН23/2х30)	230	2х300	276	850	0,234	12,5	0,220	1900
13	Д42 (8ЧРН30/38)	300	380	184	700	0,272	12,0	0,303	1920
14	Г74 (6ЧН36/45)	360	450	147,2	375	0,218	13,5	0,200	1830

Навчальне видання

ГОГОРЕНКО Олексій Анатолійович
АВДЮНІН Роман Юрійович
ХОМЕНКО Вікторія Станіславівна

**ТЕОРІЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ ДВИГУНІВ
ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ**

Методичні вказівки
до самостійної роботи здобувачів вищої освіти

Комп'ютерне верстання *Н. М. Ковальчук*
Коректор *О. Є. Вакула*

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 3,95. Вид. № 46. Зам. № 2811-39.
Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54007
E-mail : publishing@nuos.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6402 від 19.09.2018 р.