МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ

імені адмірала Макарова

Машинобудівний навчально-науковий інститут

(повна назва підрозділу)

Кафедра двигунів внутрішнього згоряння, установок та технічної експлуатації

(повна назва кафедри)

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Проректор з науково-педагогічної роботи

_____ Сергій СЛОБОДЯН

***РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ***

**Program of the Discipline**

# ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ ТА КОНСТРУЮВАННЯ ДВИГУНІВ НЕТРАДИЦІЙНИХ СХЕМ

# Organizing workflows and designing engines of unconventional circuits

рівень вищої освіти другий, магістерський,

*перший (бакалаврський) / другий (магістерський)*

тип дисципліни вибіркова,

*обов'язкова/вибіркова*

мова(и) викладання українська.

*українська/англійська*

**Миколаїв – 2024**

Вивчення дисципліни «Організація робочих процесів та конструювання двигунів нетрадиційних схем» сприяє поглибленій підготовці та більш повному задоволенню освітніх і кваліфікаційних запитів здобувачів освіти всіх спеціальностей галузей знань 13 «Механічна інженерія» та 14 «Електрична інженерія»

«___»_____ 2024 року. – _____ с.

Розробник: Митрофанов Олександр Сергійович, д.т.н., доцент

Проєкт робочої програми навчальної дисципліни «Організація робочих процесів та конструювання двигунів нетрадиційних схем» розглянуто на засіданні кафедри двигунів внутрішнього згоряння, установок та технічної експлуатації

Протокол № 9 від « 23 » квітня 2024 р.

В.о. завідувача кафедри Олексій ГОГОРЕНКО

Проєкт робочої програми навчальної дисципліни «Організація робочих процесів та конструювання двигунів нетрадиційних схем» розглянуто Навчально-методичною радою Машинобудівного навчально-наукового інституту

Протокол № 2 від « 15 » травня 2024 р.

Голова Сергій СЕРБІН

Проєкт робочої програми навчальної дисципліни «Організація робочих процесів та конструювання двигунів нетрадиційних схем» погоджено з навчальним відділом

Начальник відділу Андрій ЛАБАРТКАВА

Робоча програма навчальної дисципліни «Організація робочих процесів та конструювання двигунів нетрадиційних схем» затверджена Навчально-методичною радою НУК

Протокол № 4 від « 29 » травня 2024 р.

Голова НМР НУК Сергій СЛОБОДЯН

© НУК, 2024

**ЗМІСТ**


Вступ ..... 4

1. Опис навчальної дисципліни ..... 6
2. Мета вивчення навчальної дисципліни ..... 6
3. Передумови для вивчення дисципліни ..... 7
4. Очікувані результати навчання ..... 7
5. Програма навчальної дисципліни ..... 8
6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування..... 15
7. Форми поточного та підсумкового контролю ..... 23
8. Критерії оцінювання результатів навчання ..... 24
9. Інструменти, обладнання та програмне забезпечення, використання яких передбачає навчальна дисципліна ……. 27
10. Рекомендовані джерела інформації ..... 27

# ВСТУП

## Анотація

Дисципліна «Організація робочих процесів та конструювання двигунів нетрадиційних схем» належить до циклу вибіркових професійних дисциплін навчального плану другого (магістерського) рівня вищої освіти.

Предмет дисципліни – основні принципи організації робочих циклів та основи конструювання теплових двигунів нетрадиційних та альтернативних схем, дослідження параметрів основних робочих процесів, що протікають в двигуні, та їх основних систем. При викладені дисципліни акцент робиться на вивченні методів математичного моделювання вказаних процесів, доведенні їх до алгоритмів та розрахункових програм.

Під двигуном традиційної схеми розуміється двигун внутрішнього згоряння, робочий процес якого здійснюється в циліндрі, об'єм якого змінюється внаслідок руху поршня. Перетворення поступального руху поршня в такому двигуні здійснюється за допомогою кривошипно-шатунного механізму. В якості робочого тіла використовується атмосферне повітря (та паливо і продукти його згоряння), а в якості палива – вуглеводневі рідинні та газоподібні палива нафтового походження. Таким чином двигуни, що не відповідають вказаним вимогам в даному курсі відносяться до двигунів нетрадиційних схем. До двигунів нетрадиційних схем також слід віднести двигуни з кривошипно-шатунним механізмом та традиційною циліндро-поршневою групою, які мають відмінності щодо організації робочого циклу або регулювання. До двигунів нетрадиційних схем в даному курсі також віднесені і двигуни з зовнішнім згорянням палива (наприклад, двигуни, які працюють за циклом Стірлінга), пневматичні двигуни, адже вони можуть скласти цілком реальну альтернативу традиційним двигунам в деяких сферах застосування.

**Ключові слова:** робочий процес, тепловий двигун, математичне моделювання, конструювання, ефективність перетворення енергії, двигуни нетрадиційних схем.

## Abstract

The discipline “Unconventional engines design and working processes” belongs to the cycle of elective professional disciplines of the curriculum of the second (master's) level of higher education.

The subject of the discipline embraces basic principles of working processes, operating cycles and design basics of unconventional types of heat engines together with the study of main processes inside the engine and its subsystems. The focus of the course is on the application of the mathematical models and development of computer programs for the mentioned problems research purposes.

As the Conventional engine the Internal Combustion Engine is considered, the working cycle of which is arranged within the cylinder and the moving piston. The conversion of the reciprocating motion of the piston to the rotational motion of the output shaft is provides with the help of the crank-and-rod mechanism. The working matter of the engine consists of the ambient air, fuel vapor and combustion products and the hydrocarbon liquid and gaseous fuels originated from the crude oil are used as the energy source.

The engines, which do not obey these conditions, are considered as Unconventional engines in this course. The external combustion engines, such as Stirling engines, pneumatic and hydraulic engines are also considered in the discipline as they may compare with traditional internal combustion engines in some fields.



**Key words:** working processes, heat engine, mathematical simulation, design, energy conversion efficiency, unconventional engines.

## 1. Опис навчальної дисципліни

<table>
<tr><td rowspan="2">Найменування показників</td><td rowspan="2">Галузь знань, спеціальність (освітня програма), освітній рівень</td><td colspan="2">Характеристика навчальної дисципліни</td></tr>
<tr><td>денна форма навчання</td><td>заочна форма навчання</td></tr>
<tr><td>Кількість кредитів – 5</td><td rowspan="3">Галузь знань<br><br>14 Електрична інженерія</td><td colspan="2">Вибіркова</td></tr>
<tr><td>Модулів – 1</td><td colspan="2">Рік підготовки:</td></tr>
<tr><td>Змістових модулів – 4</td><td>1-й</td><td>1-й</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Електронний адрес РПНД на сайті Університету</td><td rowspan="5">Спеціальність<br><br>142 Енергетичне машинобудування<br><br>Освітня програма<br><br>Двигуни внутрішнього згоряння</td><td colspan="2">Семестр</td></tr>
<tr><td>2-й</td><td>2-й</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Індивідуальне науково-дослідне завдання: Розрахунок характеристик роботи ДВЗ</td><td colspan="2">Лекцій</td></tr>
<tr><td>30 год.</td><td>10 год.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Загальна кількість годин – 150</td><td colspan="2">Практичні, семінарські</td></tr>
<tr><td>30 год.</td><td>10 год.</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Тижневих годин для денної форми навчання:<br>аудиторних – 4;<br><br>самостійної роботи студента – 6;</td><td rowspan="6">Освітній рівень:<br><br>другий (магістр)</td><td colspan="2">Лабораторні</td></tr>
<tr><td>–</td><td>–</td></tr>
<tr><td colspan="2">Самостійна робота</td></tr>
<tr><td>90 год.</td><td>130 год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Індивідуальні завдання:<br>–</td></tr>
<tr><td colspan="2">Вид контролю: залік</td></tr>
<tr><td colspan="2">Форма контролю: комбінована</td></tr>
</table>

## 2. Мета вивчення навчальної дисципліни

***Мета дисципліни*** – критичний аналіз конструкції та організації робочого процесу сучасних традиційних двигунів внутрішнього згоряння для визначення можливих шляхів поліпшення показників роботи перспективних ДВЗ шляхом застосування нетрадиційних конструктивних або термодинамічних схем.

***Завдання дисципліни*** – визначення основних недоліків двигунів внутрішнього згоряння, виконаних за традиційними схемами; надання знань щодо принципів дії, схем та конструкції перспективних двигунів нетрадиційних схем; надання знань щодо особливостей розрахунку робочого циклу, кінематики силового механізму та основ конструювання двигунів нетрадиційних схем.

В результаті вивчення дисципліни студенти мають набути елементи наступних компетентностей:

– здатність виконувати докладні розрахунки робочого процесу в циліндрі двигуна;

– здатність виконувати проектування нових зразків двигунів внутрішнього згоряння, деталей циліндро-поршневої групи, кривошипно-шатунного механізму та механізму газорозподілу;

– здатність виконувати 3D моделі деталей двигунів внутрішнього згоряння, використовувати CAD системи для проектування ДВЗ та його деталей;

– здатність розраховувати особливості роботи двигуна для певного діапазону статичних та неусталених режимів роботи;

– обирати раціональне поле режимів роботи двигуна в залежності від характеристик споживача та особливостей експлуатації.

## 3. Передумови для вивчення дисципліни

Дисципліна «Організація робочих процесів та конструювання двигунів нетрадиційних схем» ґрунтується на фундаментальних законах фізики, хімії, термодинаміки, теоретичної механіки, гідравліки та газової динаміки, знання котрих має бути забезпечене попереднім вивченням студентів відповідних предметів на перших двох курсах навчання. Для розуміння матеріалу дисципліни знадобляться, зокрема, знання, отримані при вивченні наступних курсів освітньо-професійної програми спеціальності «142 Енергетичне машинобудування»: «Технічна термодинаміка», «Тепломасообмін», «Теоретична механіка», «Деталі машин», «Гідрогазодинаміка».

## 4. Очікувані результати навчання

Вибір здобувачами освіти дисципліни «Організація робочих процесів та конструювання двигунів нетрадиційних схем» дозволить отримати більш широкі знання про теплові двигуни загалом, особливості їх робочих процесів та конструкції, а також уміння оцінювати можливі переваги альтернативних конструкції на базі системного підходу.

Після вивчення дисципліни здобувач освіти повинен оволодіти елементами наступних компетентностей:

– знати основні недоліки конструкції та організації робочого циклу двигунів, виконаних за традиційними схемами;

– знати конструкцію, принцип дії, недоліки та переваги двигунів Ванкеля, Стірлінга, двигунів с безшатунними механізмами різного типу, роторно-лопатевого двигуна, двигуна з вільно рухомими поршнями тощо;

– вміти виконувати порівняльні розрахунки робочих циклів двигунів нетрадиційних схем, виконувати розрахунки кінематики силових механізмів, а також ескізне конструювання двигунів нетрадиційних схем;

– мати уявлення про можливості сучасного конструювання ДВЗ за допомогою пакетів 3D графіки, основи уточненого розрахунку робочого циклу ДВЗ на базі вирішення системи диференційних рівнянь, перспективи впровадження двигунів нетрадиційних схем в масове виробництво.

## 5. Програма навчальної дисципліни

**Змістовий модуль №1.** Системний підхід до аналізу альтернативних схем двигунів, нетрадиційні робочі цикли в рамках традиційних конструктивних схем.

***Тема №1.*** Визначення ДВЗ традиційної схеми, виділення принципових вад та недоліків традиційних схем та класифікація нетрадиційних двигунів.

***Тема №2.*** Системний підхід до порівняльного аналізу двигунів різних схем та проектування нових двигунів.

***Тема №3.*** Альтернативні робочі цикли двигунів традиційних схем, поршневі двигуни з продовженим розширенням, поршневі двигуни, що працюють за циклом Аткінсона.

***Тема №4.*** Двигуни традиційних схем, що працюють з використанням альтернативного палива.

***Тема №5.*** Рідко вживані схеми традиційних ДВЗ. Авіаційні зіркоподібні ДВЗ з повітряним охолодженням, автомобільні двигуни з повітряним охоло-

дженням, двигуни з протилежно рухомими поршнями, двотактні двигуни з нетрадиційними схемами продувки.

**Змістовий модуль №2. Поршневі ДВЗ з альтернативними силовими механізмами.**

***Тема №6.*** Визначення вад та переваг центрального кривошипно-шатунного механізму та різновидів КШМ. Класифікація та коротка характеристика альтернативних силових механізмів поршневих двигунів.

***Тема №7.*** Двигуни з «безшатунними» силовими механізмами еліпсографічного та гіпоциклічного типу: двигуни Парсонса, Бурлє, Баландіна, Мюррєя, Вуля.

***Тема №8.*** Двигуни з багатоважільними механізмами, двигуни з механізмом типу «скошена шайба» та ін. ДВЗ з вільно рухомими поршнями: дизель-компресори з вільно рухомими поршнями, генератори газу високих параметрів з вільно рухомими поршнями, будівельні дизель-молоти.

**Змістовий модуль №3.** Роторно-поршневі ДВЗ.

***Тема №9.*** Визначення недоліків та переваг системи поршень-циліндр для забезпечення порожнини змінного об’єму. Класифікація та коротка характеристика альтернативних схем організації порожнини змінного об’єму для забезпечення в ній робочого циклу ДВЗ.

***Тема №10.*** Особливості конструкції, робочого циклу, проектування та розрахунку роторно-поршневого двигуна Ванкеля. Переваги та недоліки двигуна Ванкеля.

***Тема №11.*** Особливості конструкції, робочого циклу, проектування та розрахунку роторно-лопатєвого двигуна. Переваги та недоліки роторно-лопатєвого двигуна. Ротативні двигуни аксіального типу, торовидні та сферовидні двигуни, роторно-поршневі двигуни інших схем.

**Змістовий модуль №4.** Двигуни з зовнішнім підведенням енергії.

***Тема №12.*** Визначення вад та переваг двигунів внутрішнього згоряння, в порівнянні з двигунами зовнішнього згоряння. Двигуни зовнішнього згоряння як альтернатива сучасним ДВЗ.

***Тема №13.*** Особливості робочого циклу та різновиди двигуна Стірлінга. Розрахунок робочого циклу та особливості проектування.

***Тема №14.*** Аналіз робочих характеристик виконаних двигунів Стірлінга. Конструкція двигунів з зовнішнім підведенням тепла.

***Тема №15.*** Розширювальні машини, що використовують енергію стисненого газу.

## Тематичний план навчальної дисципліни
## Розподіл навчального навантаження

| Назви змістових модулів і тем | Кількість годин | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | денна форма | | | | | заочна форма | | | | |
| | усього | у тому числі | | | | усього | у тому числі | | | |
| | | л | п | лаб. | с. р. | | л* | п | лаб. | с. р. |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| **Змістовий модуль 1.** Системний підхід до аналізу альтернативних схем двигунів, нетрадиційні робочі цикли в рамках традиційних конструктивних схем | | | | | | | | | | |
| ***Тема 1.*** Визначення ДВЗ традиційної схеми, виділення принципових вад та недоліків традиційних схем та класифікація нетрадиційних двигунів. | 6 | 2 | – | – | 4 | 6 | 2 | – | – | 4 |
| ***Тема 2.*** Системний підхід до порівняльного аналізу двигунів різних схем та проектування нових двигунів. | 6 | 2 | – | – | 4 | 6 | 2 | – | – | 4 |
| ***Тема №3.*** Альтернативні робочі цикли двигунів традиційних схем, поршневі двигуни з продовженим розширенням, поршневі двигуни, що працюють за циклом Аткінсона. | 6 | 2 | – | – | 4 | 6 | – | – | – | 6 |
| ***Тема 4.*** Двигуни традиційних схем, що працюють з використанням альтернативного палива. | 6 | 2 | – | – | 4 | 6 | – | – | – | 6 |
| ***Тема №5.*** Рідко вживані схеми традиційних ДВЗ. Авіаційні зіркоподібні ДВЗ з повітряним охолодженням, автомобільні двигуни з повітряним охолодженням, двигуни з протилежно рухомими поршнями, двотактні двигуни з нетрадиційними схемами продувки. | 6 | 2 | – | – | 4 | 6 | – | – | – | 6 |
| **Разом за змістовим модулем 1** | **30** | **10** | **–** | **–** | **20** | **30** | **4** | – | – | **26** |
| **Змістовий модуль 2.** Поршневі ДВЗ з альтернативними силовими механізмами | | | | | | | | | | |
| ***Тема 6.*** Визначення вад та переваг центрального кривошипно-шатунного механізму та різновидів КШМ. Класифікація та коротка характеристика альтернативних силових механізмів поршневих двигунів. | 10 | 2 | 4 | – | 4 | 10 | – | – | – | 10 |
| ***Тема 7.*** Двигуни з «безшатунними» силовими механізмами еліпсографічного та гіпоциклічного типу: двигуни Парсонса, Бурлє, Баландіна, Мюррєя, Вуля. | 10 | 2 | 4 | – | 4 | 10 | – | 4 | – | 6 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***Тема 8.*** Двигуни з багатоважільними механізмами, двигуни з механізмом типу «скошена шайба» та ін. ДВЗ з вільно рухомими поршнями: дизель-компресори з вільно рухомими поршнями, генератори газу високих параметрів з вільно рухомими поршнями, будівельні дизель-молоти. | 10 | 2 | 4 | – | 4 | 10 | 2 | – | – | 8 |
| **Разом за змістовим модулем 2** | **30** | **6** | **12** | **–** | **12** | **30** | **2** | **4** | **–** | **24** |
| **Змістовий модуль 3.** Роторно-поршневі ДВЗ | | | | | | | | | | |
| ***Тема № 9.*** Визначення недоліків та переваг системи поршень-циліндр для забезпечення порожнини змінного об'єму. Класифікація та коротка характеристика альтернативних схем організації порожнини змінного об'єму для забезпечення в ній робочого циклу ДВЗ. | 14 | 2 | 4 | – | 8 | 14 | – | – | – | 14 |
| ***Тема № 10.*** Особливості конструкції, робочого циклу, проектування та розрахунку роторно-поршневого двигуна Ванкеля. Переваги та недоліки двигуна Ванкеля. | 15 | 2 | 4 | – | 9 | 15 | 2 | 4 | – | 9 |
| ***Тема № 11.*** Особливості конструкції, робочого циклу, проектування та розрахунку роторно-лопатєвого двигуна. Переваги та недоліки роторно-лопатєвого двигуна. Ротативні двигуни аксіального типу, торовидні та сферовидні двигуни, роторно-поршневі двигуни інших схем. | 16 | 2 | 2 | – | 12 | 16 | – | – | – | 16 |
| **Разом за змістовим модулем 3** | **45** | **6** | **10** | **–** | **29** | **45** | **2** | **4** | **–** | **39** |
| **Змістовий модуль 4.** Двигуни з зовнішнім підведенням енергії | | | | | | | | | | |
| ***Тема № 12.*** Визначення вад та переваг двигунів внутрішнього згоряння, в порівнянні з двигунами зовнішнього згоряння. Двигуни зовнішнього згоряння як альтернатива сучасним ДВЗ. | 10 | 2 | – | – | 8 | 10 | – | – | – | 10 |
| ***Тема № 13.*** Особливості робочого циклу та різновиди двигуна Стірлінга. Розрахунок робочого циклу та особливості проектування. | 12 | 2 | 4 | – | 6 | 12 | – | 2 | – | 10 |
| ***Тема №14.*** Аналіз робочих характеристик виконаних двигунів Стірлінга. Конструкція двигунів з зовнішнім підведенням тепла. | 12 | 2 | 4 | – | 6 | 12 | 2 | – | – | 10 |
| ***Тема №15.*** Розширювальні машини, що використовують енергію стисненого газу. | 11 | 2 | – | – | 9 | 11 | – | – | – | 11 |
| **Разом за змістовим модулем 4** | **45** | **8** | **8** | | **29** | **45** | **2** | **2** | **–** | **41** |
| **Разом за курсом** | **150** | **30** | **30** | **–** | **90** | **150** | **10** | **10** | | **130** |

## Теми практичних занять

| № з/п | Назва теми | Кількість годин | |
|---|---|---|---|
| | | Денна форма | Заочна форма |
| 1 | Порівняння альтернативних силових механізмів поршневих двигунів з кривошипно-шатунним механізмом. | 4 | – |
| 2 | Розрахунок кінематики та динаміки двигуна з «безшатунними» силовими механізмами | 4 | 4 |
| 3 | Основи розрахунку робочого процесу вільно-поршневого двигуна | 4 | – |
| 4 | Порівняльна оцінка різних варіантів організації герметичної робочої порожнини змінного об'єму | 4 | – |
| 5 | Побудова робочого профілю двигуна Ванкеля | 4 | 4 |
| 6 | Проектування роторно-лопатєвих двигунів | 2 | – |
| 7 | Створення технологічної схеми математичної моделі робочого циклу двигунів Стірлінга різни типів | 4 | 2 |
| 8 | Підходи до конструювання двигунів Стірлінга різного ступеня форсування | 4 | – |
| | **Разом** | 30 | 10 |

## Самостійна робота

| № з/п | Вид роботи | Кількість годин | |
|---|---|---|---|
| | | Денна форма | Заочна форма |
| 1 | Підготовка до лекцій | 15 | 25 |
| 2 | Підготовка до практичних робіт | 15 | 20 |
| 3 | Підготовка реферату | 15 | 25 |
| 4 | Виконання індивідуального завдання | 30 | 45 |
| 5 | Підготовка до заліку | 15 | 15 |
| | **Разом** | 90 | 130 |

## Індивідуальне завдання

Індивідуальна робота здобувача освіти повинна виконуватися під керівництвом викладача і має на меті поглиблення та закріплення матеріалу лекційного курсу. Зважаючи на те, що аналіз нетрадиційних схем двигунів зовнішнього та внутрішнього згоряння неможливий без докладних розрахунків їх робочих циклів, а також без ескізного проектування їх конструкції, пропонується наступна організація індивідуальної роботи здобувачів освіти. Група здобувачів поділяється викладачем на підгрупи по 5…6 чоловік, які умовно називають «конструкторськими бюро». Підгрупи отримують індивідуальне завдання на ескізне проектування двигуна нетрадиційної схеми з докладною проробкою спеціального питання. В кожній підгрупі викладачем призначається відповідальна особа («головний конструктор»), до обов'язків якої входить загальне керівництво роботою підгрупи, розподіл робіт серед членів пі-

дгрупи, прийняття рішень щодо конструювання двигуна. Відповідальна особа підпорядковується безпосередньо викладачеві, інші члени підгрупи підпорядковуються відповідальній особі. Індивідуальне завдання виконується в вигляді звіту та містить розрахунково-пояснювальну записку і графічну частину. Виконання індивідуального завдання здійснюється за допомогою персональних комп'ютерів та передбачає розробку кожною підгрупою необхідних програмних засобів для здійснення відповідних розрахунків. Індивідуальне завдання містить стандартні частини: опис двигунів заданої нетрадиційної схем, розрахунок кінематики двигуна, розрахунок динаміки двигуна, розрахунок робочого циклу двигуна та ескізне проектування двигуна. Крім того до кожного індивідуального завдання ставиться задача проробки спеціального питання. Зміст спеціального питання залежить від особливостей двигуна, що проектується. Приклад індивідуального завдання наведений у **Додатку 1**.

**Типова структура індивідуального завдання та його відповідність тематиці змістових модулів**

| **Найменування змістових модулів** | **Зміст етапів індивідуального завдання** |
|---|---|
| 1. Опис принципу дії, недоліків та переваг двигуна нетрадиційної схеми. | 1. Опис принципу дії двигуна, визначення принципових схем та визначення конструктивної схеми двигуна, що проектується. |
| | 2. Креслення в AutoCAD розрахункової схеми двигуна. |
| | 3. Попереднє визначення основних визначальних параметрів двигуна: частоти обертання, кількості циліндрів, розмірності циліндрів, габаритних розмірів, маси. |
| 2. Кінематичний розрахунок двигуна. | 1. Складання кінематичної розрахункової схеми. |
| | 2. Розрахунок кінематики силового механізму та побудова залежності зміни об'єму циліндра двигуна від кута повороту валу. |
| 3. Динамічний розрахунок двигуна. | 1. Визначення розрахункової схеми для динамічного розрахунку з вказанням сил, що діють в силовому механізмі двигуна. |
| | 2. Розрахунок залежності основних сил, що діють в силовому механізмі двигуна від кута повороту валу. |
| 4. Термодинамічний розрахунок робочого циклу двигуна. | 1. Складання розрахункової схеми, визначення типу математичної моделі. |
| | 2. Розробка алгоритму математичної моделі. |
| | 3. Виконання розрахунків. |
| 5. Розробка спеціального питання | 1. Поглиблене вивчення окремої проблеми |

Крім зазначеного виду індивідуальної роботи кожний здобувач освіти під час семестру має підготувати реферат, присвячений двигуну нетрадицій-

ної схеми, який не відповідає індивідуальному завданню жодної підгрупи. В рефераті обов'язково має міститися кінематичний та термодинамічний аналіз двигуна нетрадиційної схеми та оцінка його потенціального застосування.

Реферат підлягає публічному захисту на практичних зайняттях. Бали, отримані за підготовку та захист реферату додаються до поточного рейтингу студента.

**Приклад завдань до виконання реферату**

| № з/п | П.І.ПБ | Теми рефератів |
|---|---|---|
| 1 | | Двигун Дяченко – двотактний двигун з подовженим розширенням |
| 2 | | Двигун з без шатунним механізмом Мюрея |
| 3 | | Двигуни з еліпсографічним механізмом та ротативним блоком циліндрів (двигуни Парсонса, Бурлє) |
| 4 | | Двигуни внутрішнього згоряння, що мають запалення гомогенної суміші від стиснення (HCCI процес) |
| 5 | | Авіамодельні ДВЗ |
| 6 | | Особливості робочого процесу двигунів, що працюють на паливах з високим вмістом окисника (метанол, закис азоту, тощо) |
| 7 | | Гібридизація ДВЗ |
| 8 | | Вільнопоршневі генератори газу |
| 9 | | Двигуни з роздільним робочим процесом |
| 10 | | Роторно-поршневі двигуни внутрішнього згоряння |

## 6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування

***Методи навчання***:

– лекції;

– робота із літературою;

– репродуктивні бесіди;

– практичні роботи.

Контроль успішності навчання здобувачів проводиться у формах поточного і підсумкового контролю.

***Поточний контроль*** полягає у перевірці знань і практичної підготовленості здобувачів з певної завершеної частини навчальної дисципліни (змістового модуля), захисту самостійних практичних робіт (СПР).

Формами поточного контролю є:

– усні відповіді;

– виконання і захист індивідуального розрахункового завдання;

– реферат;

– контрольні роботи.

***Підсумковий контроль*** – залік.

Нижче наведений перелік питань до курсу, на базі якого видається завдання до рефератів та індивідуальних розрахункових завдань, а також формуються питання на залік.

***Перелік питань до тематичного плану дисципліни:***

**Змістовий модуль №1.**

1. Надати визначення двигуна внутрішнього згоряння традиційної схеми. Вказати на недоліки традиційних двигунів і визначити можливі шляхи їх усунення.

2. Навести відому Вам класифікацію двигунів нетрадиційних схем та надати коротку характеристику кожного типу двигуна.

3. Дати визначення та навести основні етапи життєвого циклу ДВЗ як технічного об’єкту.

4. Навести ознаки ДВЗ як складної технічної системи.

5. Навести етапи та мету процесу проектування ДВЗ. Висхідне та низхідне проектування.

6. Навести ієрархічні рівні проектування ДВЗ (ієрархічну структуру комбінованого двигуна внутрішнього згоряння) та вказати на їх взаємозв’язок.

7. Навести приклади задач синтезу та аналізу при проектуванні ДВЗ.

8. Пояснити принципи декомпозиції та ітераційності процесу проектування ДВЗ.

9. Навести низку вимог, що висуваються при проектуванні сучасного двигуна. Які при цьому використовуються техніко-економічні показники? Які основні тенденції можна виділити?

10. Яким чином здійснюється вибір частоти обертання двигуна, що проектується?

11. Що необхідно враховувати при вибиранні геометричних розмірів циліндру двигуна (діаметра циліндра $D$, співвідношення $S/D$)?

12. Які фактори слід враховувати при визначенні кількості циліндрів двигуна?

13. Яким чином слід обирати компоновку двигуна, включаючи розташування циліндрів?

14. Пояснити як залежать основні визначальні параметри двигуна (частота обертання, геометричні розміри циліндру, кількість та розташування циліндрів) від призначення двигуна.

15. Пояснити особливість організації роботи ДВЗ за циклом Аткінсона. Навести індикаторну діаграму теоретичного та дійсного циклу, провести порівняння параметрів циклу Аткінсона та циклу Отто.

16. Пояснити особливість організації роботи ДВЗ за циклом Міллера. Навести індикаторну діаграму теоретичного та дійсного циклу, провести порівняння параметрів циклу Міллера та циклу Отто.

17. Яким чином необхідно змінити конструкцію серійного двигуна-прототипу для переведення його на роботу за циклом Аткінсона та за циклом Міллера?

18. Пояснити особливість організації робочого циклу двигуна з подовженим розширенням (схем Д'яченко). Навести індикаторну діаграму теоретичного та дійсного циклу.

19. Яким чином можливо конструктивно забезпечити роботу ДВЗ за циклом з подовженим розширенням?

20. Які переваги мають двигуни з розділенням робочого циклу на два циліндри? Навести схему двигуна Кушуля та пояснити його роботу.

21. Пояснити особливості робочого процесу двигунів, що працюють на гомогенній суміші з запаленням від стиснення. Які переваги потенційно мають такі двигуни та які недоліки?

22. Які особливості мають двигуни внутрішнього згоряння, що працюють на водні? Пояснити відмінність у робочому процесі в порівнянні з бензиновими двигунами.

23. Визначити доцільність та можливості використання вугільних суспензій в якості моторного палива ДВЗ. Які основні перешкоди необхідно подолати для успішного переведення ДВЗ на тверде паливо.

24. Пояснити особливості робочого циклу двигунів, що працюють на паливах з високим вмістом кисню: етиловий та метиловий спирти. Розглянути можливість переведення двигуна на горохоподібне паливо (що містить в собі паливо й окислювач).

25. Проаналізувати основні вади та переваги повітряного охолодження ДВЗ в порівнянні з двигунами з рідинним охолодженням.

26. Навести рідко вживані схеми продувки двотактних двигунів: продувка Цоллера, прямоточно-щілинна продувка тощо. Що спричиняє поступове витиснення двотактних двигунів чотиритактними конструкціями?

**Змістовий модуль №2.**

27. Проаналізувати кривошипно-шатунний механізм різних типів з точки зору компонування двигунів. Вказати недоліки.

28. Проаналізувати кінематику кривошипно-шатунного механізму. Визначити зв'язок між кінематикою механізму та особливостями протікання робочого циклу двигуна.

29. Проаналізувати динаміку кривошипно-шатунного механізму. Що таке сили інерції другого порядку, які причини їх виникнення?

30. Пояснити основні питання врівноваження багатоциліндрових двигунів з кривошипно-шатунним механізмом.

31. Навести розрахункову схему та пояснити роботу силового механізму еліпсографічного типу.

32. Навести схеми різновидів силового механізму еліпсографічного типу. Які обмеження на загальну кількість циліндрів двигуна справедливі для даного типу механізму?

33. Проаналізувати кінематику та динаміку безшатунного механізму еліпсографічного типу. Порівняти з кривошипно-шатунним механізмом.

34. Чи впливає тип силового механізму на протікання робочого циклу двигуна? Порівняти за цим фактором кривошипно-шатунний та безшатунний силовий механізм еліпсографічного типу.

35. Навести принципову схему гіпоциклічного безшатунного силового механізму (механізм Мюррея). Які зміни в конструкції двигуна забезпечує використання механізму даного типу?

36. Проаналізувати кінематику та динаміку гіпоциклічного безшатунного силового механізму. Виконати порівняння з кривошипно-шатунним механізмом.

37. Навести відомі Вам схеми двигунів з багато важільними механізмами. Яку мету переслідують конструктори, ускладнюючи конструкцію двигуна?

38. Які переваги щодо компонування двигуна має силовий механізм типу «скошена шайба»? Який основний недолік подібних механізмів?

39. Навести схему дизель-компресора з вільно рухомими поршнями. Пояснити принцип дії.

40. Яків чином можливо здійснити розрахунок кінематики поршнів дизель-компресору з вільно рухомими поршнями? Чи відповідає кінематика поршнів вимогам термодинамічної ефективності робочого циклу дизель-компресору?

41. Навести індикаторні діаграми теоретичного та дійсного циклу дизель-компресору з вільно рухомими поршнями та діаграми в порожнинах ступенів компресору.

42. Навести схему, пояснити принцип дії та навести призначення дизель-поршневих генераторів газу з вільно рухомими поршнями.

43. Пояснити відмінності між дизель-компресором з вільно рухомими поршнями та дизель-поршневим генератором газу з вільно рухомими поршнями.

44. Навести принципову схему свайного дизель-молоту. Пояснити принцип дії, навести індикаторну діаграму теоретичного та дійсного циклу.

45. Навести блок-схему побудови алгоритму розрахунку робочого циклу двигунів з альтернативними силовими механізмами. Які необхідно внести зміни до математичної моделі робочого циклу двигуна традиційної схеми?

Яким чином робота силового механізму впливає на протікання робочого циклу двигуна?

**Змістовий модуль №3.**

46. Проаналізувати систему поршень-циліндр, що забезпечує судину змінного об’єму, за наступними параметрами: сили, що діють в системі, втрати на тертя, масогабаритні параметри.

47. Проаналізувати роботу системи поршневих кілець двигуна традиційної схеми.

48. Альтернативні шляхи організації судини змінного об’єму. Навести відомі Вам схеми роторно-поршневих ДВЗ.

49. Які потенційні переваги забезпечують роторно-поршневі двигуни в порівнянні з двигунами традиційної схеми?

50. Навести принципову схему двигуна Ванкеля, пояснити принцип дії двигуна.

51. Дати визначення теоретичного та дійсного контуру робочої порожнини двигуна Ванкеля.

52. Навести розрахункові формули для визначення теоретичного контуру робочої порожнини двигуна Ванкеля.

53. З яких міркувань корегується теоретичний контур робочої порожнини двигуна Ванкеля? Яким чином здійснюється коригування.

54. Яким чином розраховується профіль ротору двигуна Ванкеля? Навіщо в роторі виконуються заглиблення?

55. Навести схематично систему ущільнень двигуна Ванкеля. Які виникають проблеми з ущільненням робочих порожнин в двигунах даного типу.

56. Проаналізувати умови вигоряння палива в роторно-поршневому двигуні. З чим пов’язана установка двох свічок запалення в бензинових двигунах Ванкеля?

57. Проаналізувати форму камери згоряння двигуна Ванкеля з позиції термодинамічної ефективності двигуна.

58. Чи можливо організувати роботу двигуна Ванкеля за дизельним циклом.

59. Проаналізувати закон зміни об’єму робочих порожнин двигуна Ванкеля від кута повороту ротора та порівняти з традиційним кривошипно-шатунним механізмом.

60. Виконати порівняльний аналіз діаграм часу-перерізу органів газорозподілу роторно-поршневого двигуна та двигуна традиційної схеми.

61. Намалювати схему сил, діючих в роторно-поршневому двигуні Ванкеля. Яким чином здійснюється врівноваження двигунів даного типу?

62. Пояснити особливості конструювання багатороторних двигунів Ванкеля. Які при цьому виникають додаткові проблеми?

63. Навести принципову схему системи змащення двигуна Ванкеля. Якими способами утворюється шар масла на контурі робочого профілю двигуна?

64. Порівняти характеристики та основні техніко-економічні показники двигуна Ванкеля та двигуна традиційної схеми однакової потужності.

65. Намалювати принципову схему роторно-лопатєвого двигуна. Пояснити принцип дії.

66. Навести принципові схеми відомих Вам механізмів синхронізації руху лопатей роторно-лопатєвого двигуна.

67. Чи можливо створення багатороторних роторно-лопатєвих двигунів?

68. Вказати на принципові переваги та недоліки роторно-лопатєвого двигуна порівняно з двигуном традиційної схеми.

69. Визначити перспективні об’єкти застосування роторно-поршневих двигунів.

70. Пояснити особливість організації газообміну в роторно-лопатєвому двигуні.

71. Проаналізувати форму камери згоряння роторно-лопатєвого двигуна з позиції термодинамічної ефективності циклу.

72. Чи можливо організувати дизельний цикл в двигуні, виконаному за роторно-лопатєвою схемою.

73. Навести принципові схеми двигунів аксіального, торовидного та сферовидного типу.

74. Якими основними факторами обмежується гранична частота обертання ротора роторно-поршневих двигунів?

75. Проаналізувати можливість застосування роторно-поршневих двигунів, зокрема роторно-лопатєвої схеми, в двигунах з зовнішнім підведенням тепла.

76. Навести низки змін, які необхідно внести в програму розрахунку робочого циклу двигуна внутрішнього згоряння традиційної схеми для забезпечення розрахунку робочого циклу роторно-поршневих двигунів.

**Змістовий модуль №4.**

77. Намалювати принципову схему двигуна з зовнішнім підведенням тепла. Вказати основні відмінності двигунів внутрішнього згоряння від двигунів з зовнішнім підведенням тепла.

78. Назвати відомі Вам типи двигунів з зовнішнім підведенням тепла.

79. Навести теоретичний цикл Стірлінга в *p-V* та *T-S* координатах. Вказати на процеси регенерації тепла.

80. Записати вираз для термічного ККД регенеративного циклу Стірлінга та порівняти даний цикл з циклом Карно.

81. Порівняти теоретичний регенеративний цикл Стірлінга з циклами Отто та Дизеля.

82. Навести сумісні індикаторні діаграми теоретичного та дійсного циклу Стірлінга. Вказати на відмінності та на причини, що їх зумовлюють.

83. Навести складові втрат енергії в дійсному циклі Стірлінга по відношенню до теоретичного циклу.

84. Дати визначення регенератору та назвати його функції в складі двигуна Стірлінга.

85. Навести принципову схему α-Стірлінга. Порівняти теоретичний та дійсний закон зміни робочих об’ємів двигуна.

86. Навести принципову схему β-Стірлінга. Порівняти теоретичний та дійсний закон зміни робочих об’ємів двигуна.

87. Навести принципову схему γ-Стірлінга. Порівняти теоретичний та дійсний закон зміни робочих об’ємів двигуна.

88. Навести алгоритм визначення основних визначальних показників двигуна Стірлінга.

89. Які робочі тіла використовуються в двигунах Стірлінга і чому?

90. Яким чином здійснюється регулювання потужності та обертів двигуна Стірлінга?

91. Проаналізувати можливі палива, придатні для застосування в двигуні Стірлінга. Які з них можна вважати найбільш перспективними?

92. Навести основу алгоритму інтегрального розрахунку двигуна Стірлінга.

93. Навести розрахункову схему для побудови математичної моделі робочого процесу двигуна Стірлінга в диференційній формі.

94. Навести базові рівняння математичної моделі робочого процесу двигуна Стірлінга в диференційній формі.

95. Назвати фактори, які обмежують подальше збільшення ефективності двигуна Стірлінга.

96. Навести відомі Вам конструктивні схеми регенератору та методи його розрахунку.

97. Яким чином конструктивно виконується підведення та відведення тепла в двигуні Стірлінга?

98. Виконати порівняння робочих характеристик двигуна Стірлінга та двигуна традиційної схеми.

99. Виконати порівняння двигуна Стірлінга та двигуна традиційної схеми за основними техніко-економічними показниками.

100. Вказати можливі сфери застосування двигуна Стірлінга, що співпадають зі сферою застосування традиційних ДВЗ.

## 7. Форми поточного та підсумкового контролю

Досягнення здобувача освіти оцінюються за 100-бальною системою Університету.

Підсумкова оцінка визначається на підставі поточного контролю (за результатами роботи на практичних заняттях, оцінки за виконаний реферат, за-

хищений відповідним чином, оцінки за виконання елементів індивідуального завдання).

Виставлення підсумкової оцінки здобувачу освіти, що успішно виконав навчальний план, може бути здійснено за його відсутності. Поточний контроль проводиться на кожному практичному занятті. Він передбачає оцінювання теоретичної та практичної підготовки здобувачів вищої освіти із зазначеної теми (у тому числі, самостійно опрацьованого матеріалу) під час роботи на практичних заняттях. Передбачені наступні заходи:

1) опитування студентів вибірково протягом 5…10 хвилин на початку заняття щодо опанування ними матеріалу попередніх лекцій з відповідним оцінюванням вірних відповідей;

2) проведення контрольних робіт;

3) перевірка етапів виконання індивідуального завдання та його захист по завершенню його виконання.

Підсумкова оцінка виставляється після закінчення вивчення дисципліни, до початку екзаменаційної сесії. Зарахування кредитів навчального курсу можливо тільки після досягнення результатів, запланованих РПНД, що виражається в одній з позитивних оцінок, передбачених чинним законодавством.

**Розподіл балів для оцінювання результатів навчання**

| | | Денне відділення | | Заочне відділення | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Вид роботи | Бали | Вид роботи | Бали |
| ЗМ2 | Т6 | Контрольна робота №1 | 15 | Контрольна робота №1 | 15 |
| ЗМ3 | Т9 | Контрольна робота №2 | 15 | Контрольна робота №2 | 15 |
| ЗМ4 | Т12 | Контрольна робота №3 | 15 | Контрольна робота №3 | 15 |
| Захист реферату | | Доповідь | 15 | Доповідь | 15 |
| Захисту групового індивідуального завдання | | Індивідуальне завдання | 40 | Індивідуальне завдання | 40 |
| **Сума балів** | | | **100** | | **100** |

## 8. Критерії оцінювання результатів навчання

Підсумкова оцінка з дисципліни «Організація робочих процесів та конструювання двигунів нетрадиційних схем» складається з суми балів за контрольні роботи, захищені реферати, виконане індивідуальне завдання.

## Критерії оцінювання контрольних робіт

| Бали | Критерії оцінювання |
|---|---|
| 15 | Робота виконана у встановлений термін, має коректні вихідні дані, пояснювальні схеми та охайно оформлені розрахунки до кожної з задачі. Розрахунки та визначення наведені без помилок, всі задачі повністю розв'язані |
| 12 | Робота виконана вчасно і в цілому вірно, має всі складові елементи, проте студентом допущені незначні помилки в розрахунках та/або визначеннях, є недоліки щодо оформлення |
| 7 | Робота виконана вчасно, має принципово вірний напрямок розв'язання основних задач, проте при її виконанні студентом зроблені досить суттєві помилки, що призвели до невірної кінцевої відповіді на відповідні питання |
| 3 | Робота виконана з порушенням встановлених строків, має суттєві помилки, недоліки в оформлені, студент відповів лише на частину поставлених питань та задач |
| 0 | Контрольна робота не здана вчасно, або не містить правильних відповідей |

## Критерії оцінювання рефератів

| Бали | Критерії оцінювання |
|---|---|
| 15 | Реферат виконаний вчасно, відповідно до встановлених норм та стандартів. Студент зробив якісну, змістовну доповідь, в якій стисло виклав особливості робочого процесу та конструкції запропонованого типу двигунів нетрадиційної схеми, окреслив їх недоліки та переваги і оцінив можливі перспективи подальшої реалізації. |
| 12 | Реферат виконаний вчасно, відповідно до завдання. Студент загалом повно розкрив тему, розібрався в роботі та конструкції двигуна нетрадиційної схеми, але припустився деяких помилок у висновках та оформленні роботи, доповідь мала недоліки. |
| 7 | Реферат відповідає темі завдання та оформлений згідно до нормативних вимог, проте виконаний з порушенням встановлених термінів, студент посередньо розібрався в особливостях робочого процесу та конструкції заданого двигуна нетрадиційної схеми. |
| 3 | Реферат відповідає темі завдання та оформлений згідно до нормативних вимог, проте студент порушив встановлені терміни та не зміг розкрити поставлену тему та невірно розібрався в її аспектах |
| 0 | Реферат не підготовлений, або не відповідає вимогам оформлення та завданню |

Захист групового індивідуального завдання відповідною підгрупою студентів, що полягає у презентації роботи з використанням лазерного проектора та демонстрації натурних зразків двигунів або їх елементів (в разі наявності) та відповіді на питання, що ставить комісія та інші слухачі. Під час групового захисту обов'язково має виступити кожний зі здобувачів підгрупи та чітко окреслити свій внесок в загальну справу.

## Критерії оцінювання групового індивідуального завдання

| Предмет оцінювання | Кількість балів | Критерії оцінювання |
|---|---|---|
| Пояснювальна записка | 10 | Оформлена охайно, відповідно до вимог та стандартів; тема дослідження розкрита повністю; має чітко сформульовану логічну структуру, в якій пов'язані постановка задачі та актуальність дослідження, аналіз кінематичної схеми двигуна, динаміки силового механізму, наведені відомості про використані математичні моделі та результати їх використання; всебічно розглянуті недоліки та переваги і можливе застосування двигуна, що проектується. |
| | 8 | Тема роботи розкрита повністю та всебічно, пояснювальна записка оформлена відповідно до стандартів та вимог із незначними порушеннями; виконані всі необхідні розрахунки та належним чином представлені. Робота містить незначні помилки, які в цілому не знижують значення отриманих висновків. |
| | 5 | Робота оформлена відповідно до стандартів та вимог, проте має деякі помилки. Деякі аспекти конструювання або розрахунку двигуна розглянуті не в повному обсязі, або дещо спрощено. Результати роботи потребують доопрацювання для подальшого використання. |
| | 2 | Робота не має цілісного характеру, не всі її розділи мають достатнє розкриття матеріалу, відсутній логічний висновок, результати розрахунків підлягають сумніву; порушені певні вимоги щодо оформлення роботи, посилання на літературні джерела, тощо. |
| | 0 | Пояснювальної записки не представлено |
| Графічна частина | 10 | Представлені на захист тривимірні та двовимірні креслення спроектованого двигуна або елементів двигуна ретельно опрацьовані, відповідають завданню та повністю розкривають конструктивні особливості (або представляють собою докладне вирішення поставленої конструкторської задачі) |
| | 8 | Представлені на захист креслення та твердотільні моделі в цілому є вирішенням поставленої в роботі дослідної задачі, мають лише незначні конструктивні недоліки, які можуть бути легко усунені. |
| | 5 | Представлені креслення та тривимірні моделі є дещо схематичним та не досить докладно опрацьованим вирішенням поставленої задачі |
| | 2 | Креслення та інші графічні матеріали є лише першим наближенням до конструктивного вирішення поставленої в роботі задачі, оформленні з значними порушеннями та помилками. |
| | 0 | Графічна частина відсутня |
| Захист роботи | 20 | Доповідь логічно побудована, студент чітко та стисло викладає основні результати дослідження, показує глибокі знання з питань теми, оперує даними дослідження, вносить пропозиції по темі дослідження, під час доповіді вміло використовує презентацію, впевнено і докладно відповідає на поставлені запитання. Студент ясно демонструє |

| | | |
|---|---|---|
| | | свій внесок в загальний результат роботи підгрупи |
| | 16 | Студент спроможний чітко та стисло викласти основні результати дослідження, належно обґрунтовує положення роботи, але допускає неточності у відповідях на запитання, дещо невпевнено висвітлює свій внесок в загальний результат роботи підгрупи |
| | 10 | Студент спроможний чітко та стисло викласти основні результати дослідження, належно обґрунтовує положення роботи, але допускає неточності у відповідях на запитання. Його внесок в загальний результат важко встановити. |
| | 4 | Студент невпорядковано викладає основні результати дослідження, не спроможний дати відповідь на запитання, відстоювати свою позицію, його внесок в загальний результат є незначним. |
| | 0 | Студент не з'явився на захисті або не відповів на жодне запитання |
| Разом | 0…40 | |

## 9. Інструменти, обладнання та програмне забезпечення, використання яких передбачає навчальна дисципліна

До засобів навчання слід віднести використання персональних комп'ютерів з доступом до мережі інтернет, які дають змогу виконувати математичні розрахунки, моделювання, двовимірні та тривимірні креслення безпосередньо під час практичних занять.

Для поглибленого вивчення дисципліни рекомендується систематичне опрацювання фахових журналів: «Двигуни внутрішнього згоряння», «SAE Technical paper». З метою роз'яснення найбільш складних питань дисципліни та підвищення якості проведення практичних занять слід проводити групові та індивідуальні консультації за розкладом кафедри.

Демонстрація поточних результатів виконання групового індивідуального завдання підгрупами студентів, захист рефератів та підсумковий залік виконуються з використанням лазерного проектора.

## 10. Рекомендовані джерела інформації

### Основна література

1. Марченко А. П., Рязанцев М. К., Шеховцов А. Ф. Двигуни внутрішнього згоряння : серія підручників у 6 т. Т. 1. Розробка конструкції форсованих двигунів наземних транспортних машин / ред. проф. А. П. Марченко та

засл. діяча науки України проф. А. Ф. Шеховцова. Харків : Прапор, 2004. – 384 с.

2. Марченко А. П., Рязанцев М. К., Шеховцов А. Ф. Двигуни внутрішнього згоряння : серія підручників у 6 т. Т. 2. Доводка конструкції форсованих двигунів наземних транспортних машин / ред. проф. А. П. Марченко та засл. діяча науки України проф. А. Ф. Шеховцова. Харків : Прапор, 2004. – 288 с.

3. Двигуни внутрішнього згоряння. Теорія : Підручник / В.Г. Дяченко; За ред. А. П. Марченка. – Харків: НТУ "ХПІ", 2008. – 488 с.

4. Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.Є., Тимченко І.І. Автомобільні двигуни: Підручник. – К.: Арістей, 2004. – 474 с

5. Марченко А. П., Пильов В. О. М. К., Шеховцов А. Ф. Двигуни внутрішнього згоряння : серія підручників у 6 т. Т. 4. Основи САПР ДВЗ / ред. проф. А. П. Марченко та засл. діяча науки України проф. А. Ф. Шеховцова. Харків : Прапор, 2004. – 336 с.

6. Абрамчук Ф. І., Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т.6 Надійність ДВЗ / Ф. І. Абрамчук, М. К. Рязанцев, А. Ф. Шеховцов / ред. проф. А. П. Марченко та засл. діяча науки України проф. А. Ф. Шеховцова. Харків : Прапор, 2004. – 324 с.

7. Planchard D. C. Engineering design with SolidWorks 2020. SDC Publications, 2019. – 816 p.

8. Sham Tickoo. SolidWorks 2018 for Designers, 16th Edition. Schererville : CADCIM Technologies, 2018. – 1987 p.

9. SolidWorks 2018. Learn by doing - Part 1: parts, assembly, drawings, and sheet metal. Tutorial Books, 2018. 532 p.

10. SolidWorks 2018. Learn by doing - Part 2: surface design. Tutorial Books, 2018. – 149 p.

11. Програмування мовою Visual Basic/VBA. Навчальний посібник. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2004. – 240 с.

12. Microsoft Excel VBA Programming FOR DUMMIES / by John Walkenbach. – 2nd edition. Wiley Publishing, Inc. – 433 p.

13. Кундрат А. М., Кундрат М. М. Науково-технічні обчислення засобами MathCAD та MS Excel. Навч. посібник. – Рівне: НУВГП, 2014. – 252 с.

14. Петрик М. Mathcad-технології в інженерних задачах теорії розрахунку і конструювання. – Тернопіль: ТДТУ ім. Ів. Пулюя, 2000. – 154 с.

15. Mathsoft Mathcad 11. User's Guide. USA: Mathsoft Engineering & Education, Inc., November, 2002. – 480 p.

16. Method and device for additional thermal heating for motor vehicle equipped compressed air injection : пат. США №6305171B1 F01K 7/34 / Negre Guy, Negre Cyril; опубл. 23.10.2001.

17. Комбінована силова установка автотранспортного засобу : пат. 100503 Україна МПК 7 B60K 6/00 / О. І. Воронков, І. М. Нікітченко, Е. В. Тесленко, О. Ю. Ліньков, А. О. Назаров; заявник та патентовласник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. № u201501594; заявл. 24.02.2015 р.; опубл. 27.07.2015 р., Бюл. № 14.

18. Воронков О. І., Лісіна О. Ю., Нікітченко І. М. Визначення часу перетину в золотниковому розподільнику пневмодвигуна. *Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. ХНАДУ*. 2014. Вып. 34. С. 39–43.

19. Qihui Y., Cai M., Shi Y., Yuan C. Dimensionless Study on Efficiency and Speed Characteristics Of a Compressed Air engine. *Beijing University of Aeronautics and Astronautics.* 2015. № 137 (4).

20. Поршнева машина : пат. на винахід України № 120489 / О. С. Митрофанов, Ю. В. Шабалін, Т. Ф. Бірюк, Л. О. Єфеніна. № a201902189; заявл. 10.09.2019 р.; опубл.10.12.2019 р. Бюл. № 23.

**Допоміжна література**

1. Козяр М. М., Фещук Ю. В., Парфенюк О. В. Комп'ютерна графіка. SolidWorks : навчальний посібник. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2018. – 252 с.

2. Козяр М. М., Парфенюк О. В. Чотиривимірне моделювання технічних об'єктів засобами САПР: електронний навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2018. 313 с.

3. Комп’ютерна графіка SolidWorks : навчальний посібник / М. М. Козяр, Ю.В. Фещук, О.В. Парафенюк / Херсон: Олді-Плюс, 2018. – 252 с.

4. Інженерна графіка в SolidWorks: Навчальний посібник/ С. І. Пустюльга, В. Р. Самостян, Ю. В. Клак. – Луцьк: Вежа, 2018. – 172 с.

5. Системи 3D моделювання: Навчальний посібник / Б. О. Пальчевський, Б.П. Валецький, Т. Л. Вараніцький. –Луцьк, 2016. – 176 с.

6. Цифрове моделювання об'єктів та динамічних систем: Навчальний посібник / О. В. Муравйов ; КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 75 с.

7. Mytrofanov O. S. Analysis of the development and current state of the use of power plants based on pneumatic engines. *Shipbuilding & marine infastructure*. Миколаїв : НУК, 2018. № 2 (10). С. 14–26.

8. Blair G. P. The basic design of two-stroke engines / G. P. Blair. – SAE, 1993. – 672 p.

9. Design and Development of Pneumatic Hybrid Vehicle (PHV) / Franco Antony, P. J. Albert, P. R. Rimin, Rino Disney, M. S. Sooraj, Sreevalsan S. Menon. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology.* 2014. 3 (6). P. 13184–13191.

10. Mytrofanov O., Proskurin A., Poznanskyi A. Determining the effective indicators of a rotary-piston motor operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 5/8 (107). P. 80–85. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.211425.

**Інформаційні ресурси в інтернет**

Розрахунковий сервіс Blitz-PRO. Режим доступу: http://blitzpro.zeddmalam.com/application/index

**Додаток №1**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
Імені адмірала Макарова
МАШИНОБУДІВНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

**Кафедра ДВЗ, У та ТЕ**

# Завдання

з дисципліни «Організація робочих процесів та конструювання двигунів нетрадиційних схем».

Проект двигуна Стірлінга для комплексу по переробці побутового сміття обсягом 2 тони на добу.

*Зміст розрахунково-пояснювальної записки*:

1. Визначення вихідних даних для проектування утилізаційної установки на базі двигуна Стірлінга.
2. Опис принципу дії, конструкції, основних недоліків та переваг двигунів Стірлінга.
3. Вибір принципової схеми двигуна, визначення основних конструктивних параметрів.
4. Розрахунок кінематики силового механізму.
5. Термодинамічний розрахунок робочого циклу на базі уявлення про ідеальний цикл двигуна Стірлінга.
6. Розробка макету двигуна Стірлінга запропонованої схеми.
7. Випробування макету двигуна Стірлінга.
8. Розрахунок робочого циклу макета двигуна в диференційний формі.
9. Розрахунок робочого циклу двигуна для регазифікаційного комплексу в диференційній формі.
10. Розрахунок динаміки двигуна.

*Зміст графічної частини*:
Ескізний проект конструкції спроектованого двигуна в Solid Works.

*Спеціальна частина*: розробка діючого макету двигуна Стірлінга.

Виконавці, студенти групи _____:
_____ – головний конструктор
_____

Перевірив доц., д.т.н. Митрофанов О. С.