

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ,  
ТРАНСПОРТУ ТА ПРИРОДНИЧИХ НАУК



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ЩОДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ  
З ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ  
**«ДВИГУНИ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ»**  
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ДЕННОЇ ТА ЗАОЧНОЇ ФОРМ НАВЧАННЯ  
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ  
133 – «ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ»  
ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЇ ПРОГРАМИ  
«ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ»  
ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «БАКАЛАВР»

КРЕМЕНЧУК 2023

Методичні вказівки щодо самостійної роботи з навчальної дисципліни «Двигуни внутрішнього згоряння» для студентів денної та заочної форм навчання зі спеціальності 133 – «Галузеве машинобудування» освітньо-професійної програми «Галузеве машинобудування» освітнього ступеня «Бакалавр»

Укладач к. т. н., проф. В. Ф. Шапко

Рецензент к. т. н., доц. С. М. Черненко

Кафедра «Автомобілі та трактори»

Затверджено методичною радою КрНУ імені Михайла Остроградського

Протокол № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2023 р.

Голова методичної ради



проф. В. В. Костін

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
Теми та погодинний розклад аудиторних занять і самостійної роботи з навчальної дисципліни.....	6
Змістовий модуль 1 Основи теорії автомобільних двигунів.....	7
Тема 1 Відомості з історії автомобільних двигунів.....	7
Тема 2 Класифікація автомобільних ДВЗ.....	8
Тема 3 Об'єми циліндрів та їх співвідношення.....	8
Тема 4 Термодинамічні цикли.....	8
Тема 5 Горюча суміш і продукти згоряння.....	9
Тема 6 Дійсні цикли ДВЗ.....	10
Тема 7 Показники ДВЗ.....	15
Тема 8 Тепловий баланс ДВЗ.....	16
Тема 9 Визначення вихідних даних для розрахунку ДВЗ.....	17
Тема 10 Характеристики ДВЗ.....	17
Змістовий модуль 2. Динаміка автомобільних двигунів.....	20
Тема 1 Кінематика КШМ.....	20
Тема 2 Сили та моменти, що діють у КШМ.....	22
Тема 3 Урівноваження ДВЗ.....	24
Список літератури.....	27

## ВСТУП

Дисципліна «Двигуни внутрішнього згоряння» – спеціальна навчальна дисципліна технічного профілю, яка забезпечує студентів знаннями теоретичних основ робочих процесів автомобільних двигунів внутрішнього згоряння, формування технічно-економічних показників двигунів та характеристик, кінематики, динаміки та урівноваження автомобільних двигунів. Ці знання потрібні спеціалістам з автомобільного транспорту у відповідності до кваліфікаційної характеристики фахівця за професійним спрямуванням «Галузеве машинобудування», спеціалізація «Автомобілебудування».

Метою навчальної дисципліни «Двигуни внутрішнього згоряння» є вивчення студентами теоретичних основ проектування автомобільних двигунів, їх теорії та динаміки.

Завданням вивчення дисципліни «Двигуни внутрішнього згоряння» є вивчення методів розрахунку робочих процесів двигунів внутрішнього згоряння, визначення показників двигунів та їх характеристик, кінематики та динаміки кривошипно-шатунного механізму та методів урівноваження двигунів.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен:

*знати:* сучасний стан і перспективи розвитку автомобільних двигунів; основи теорії робочого процесу автомобільних двигунів внутрішнього згоряння; методи розрахунку теплових процесів, вимоги до характеристик двигуна та їх побудови, формування сил і моментів, діючих у кривошипно-шатунному механізмі, методи зрівноваження двигуна, основи конструювання та розрахунку;

*вміти:* виконувати розрахунки робочого циклу двигуна внутрішнього згоряння, оцінювати його основні показники, експериментально визначати його характеристики.

Види самостійної роботи:

- самостійна робота для засвоєння теоретичного матеріалу згідно з наведеними темами з використанням літературних джерел;

- самостійна робота під час виконання курсової роботи з використанням методичних вказівок до практичних занять та курсового проектування.

Система забезпечення самостійної роботи:

Самостійна робота з вивчення дисципліни проводиться згідно з методичними вказівками, спираючись на наведене нижче:

- підручники, навчальні посібники та методичні вказівки згідно з переліком;

- програми розрахунку на ЕОМ.

Під час самостійної роботи необхідно керуватися програмою дисципліни, вивченими основними темами лекційних занять, переліком навчальної літератури, методичними вказівками щодо практичних та лабораторних занять і цими методичними вказівками.

## ТЕМИ ТА ПОГОДИННИЙ РОЗКЛАД АУДИТОРНИХ ЗАНЯТЬ І САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин			
	Денна/заочна форма навчання			
	усього	у тому числі		
		лж	пз	ср
1	2	3	4	5
<b>Змістовий модуль 1 Основи теорії автомобільних двигунів</b>				
Тема 1. Відомості з історії автомобільних двигунів	4/4	–/–	–/–	4/4
Тема 2. Класифікація автомобільних двигунів	4/4	–/–	–/–	4/4
Тема 3. Об'єми циліндрів та їх співвідношення	4/4	2/–	1/1	1/3
Тема 4. Термодинамічні цикли	8/8	2/–	–/–	6/8
Тема 5. Горюча суміш і продукти згоряння	8/8	2/–	1/1	5/7
Тема 6. Дійсні цикли ДВЗ	24/24	6/2	6/3	12/19
Тема 7. Показники ДВЗ	18/18	4/1	4/1	10/16
Тема 8 Тепловий баланс ДВЗ	4/4	–/–	–/–	4/4
Тема 9 Визначення вихідних даних для розрахунку ДВЗ	4/4	–/–	–/–	4/4
Тема 10. Характеристики ДВЗ	22/22	4/1	8/2	10/19
<b>Разом за змістовим модулем 1</b>	<b>100/100</b>	<b>20/4</b>	<b>20/8</b>	<b>60/88</b>

<b>Змістовий модуль 2. ДИНАМІКА АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ</b>				
1	2	3	4	5
Тема 1 Кінематика КШМ	6/6	2/–	2/2	2/4
Тема 2 Сили та моменти, що діють у КШМ	28/28	4/1	8/2	16/25
Тема 3 Урівноваження ДВЗ	30/30	4/1	–/–	26/29
<b>Разом за змістовим модулем 2</b>	<b>64/64</b>	<b>10/2</b>	<b>10/4</b>	<b>44/58</b>
ІНДЗ (КР)	16/16	–	–	16/16
Семестровий контроль (іспит)	–	–	–	–
<b>Усього годин</b>	<b>180/180</b>	<b>30/6</b>	<b>30/12</b>	<b>120/162</b>

### **Змістовий модуль 1 Основи теорії автомобільних двигунів**

#### **Тема 1 Відомості з історії розвитку автомобільних двигунів**

Типи автомобільних двигунів. Двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) як основний тип автомобільного двигуна.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Чому на автомобілях використовують ДВЗ?
2. Як поява ДВЗ вплинула на розвиток автомобільної промисловості?
3. Яка частина перевезень вантажів і пасажирів здійснюється автомобільним транспортом в Україні?
4. Які двигуни застосовували на перших наземних транспортних засобах?
5. Хто є першим винахідником ДВЗ і коли його було створено?
6. Яким був перший ДВЗ?
7. Хто вперше запропонував у ДВЗ використовувати чотиритактний цикл?
8. Хто і коли вперше створив ДВЗ із запалюванням від стиснення?
9. Хто з учених і коли вперше розробив метод теплового розрахунку ДВЗ?

10. Які вчені зробили значний внесок у розвиток теорії ДВЗ?

**Література:** [1, с. 10–13], [2, с. 7–12], [3, с. 7–10], [4, с. 6–9], [5, с. 7–10].

## **Тема 2 Класифікація автомобільних ДВЗ**

Ознаки, за якими класифікують ДВЗ. Основні типи ДВЗ, що використовують на сучасних автомобілях.

### **Питання для самоперевірки**

1. За якими ознаками класифікують ДВЗ?
2. Які типи ДВЗ використовують у сучасних автомобілях?

**Література:** [1, с. 13–14], [2, с. 13–14], [3, с. 11], [4, с. 10], [5, с. 11].

## **Тема 3 Об'єми циліндрів та їх співвідношення**

Характерні об'єми циліндра поршневого ДВЗ. Ступінь стиснення. Ступінь попереднього та ступінь подальшого розширення.

### **Питання для самоперевірки**

1. Що таке об'єм циліндра поршневого двигуна?
2. Які є характерні об'єми циліндра поршневого ДВЗ?
3. Що таке ступінь стисге?
4. Які числові значення ступеня стисге мають сучасні автомобільні двигуни та від чого залежить його вибір?
5. Що таке ступінь попереднього розширення?
6. Що таке ступінь подальшого розширення?

**Література:** [2, с. 15–18], [2, с. 13–14], [3, с. 12–14], [4, с. 1–13], [5, с. 12–14].

## **Тема 4 Термодинамічні цикли**

Термодинамічні та дійсні цикли ДВЗ. Термодинамічні цикли. Термодинамічні цикли з різними способами підведення теплоти. Термодинамічний цикл з підведенням теплоти з постійним об'ємом. Термодинамічний цикл з підведенням теплоти з постійним тиском. Термодинамічний цикл з підведенням теплоти



з постійним об'ємом і постійним тиском (змішаний цикл). Діаграми циклів. Температури та тиск у характерних точках діаграм циклів. ККД термодинамічних циклів. Робота та середній тиск. Аналіз термодинамічних циклів

### **Питання для самоперевірки**

1. Що собою являє термодинамічний цикл?
2. У чому різниця між термодинамічними та дійсними циклами?
3. Які типи термодинамічних циклів доцільно розглядати для попереднього вивчення дійсних циклів ДВЗ?
4. Із яких процесів складається термодинамічний цикл та яка їх послідовність?
5. Що собою являють діаграми  $p-V$  та  $T-V$ ?
6. Як визначити тиск і температуру в характерних точках діаграм?
7. Що таке ступінь підвищення тиску та як його визначити?
8. Як визначити ККД термодинамічного циклу?
9. Який тип термодинамічного циклу має найбільший ККД, а який цикл – найменший ККД?
10. Що собою являють робота та середній тиск термодинамічного циклу?

**Література:** [1, с. 17–26], [2, с. 19–38], [3, с. 15–29], [4, с. 14–28], [5, с. 15–29].

### **Тема 5 Горюча суміш і продукти згоряння**

Паливо для ДВЗ. Елементний склад палива. Хімічні процеси згоряння. Теоретично необхідна кількість повітря для згоряння. Коефіцієнт надлишку повітря та коефіцієнт кількості палива. Продукти згоряння. Склад продуктів згоряння. Молекулярна зміна горючої суміші під час згоряння. Хімічний коефіцієнт молекулярної зміни горючої суміші під час згоряння. Робоча суміш. Коефіцієнт залишкових газів. Межі займистості робочої суміші. Впливові чинники. Теплота згоряння палива. Вища та нижча теплота згоряння.

### **Питання для самоперевірки**

1. Які види палива застосовують для автомобільного двигуна?

2. Який елементний склад рідкого палива?
3. Які основні хімічні процеси відбуваються під час згоряння палива?
4. Як визначити теоретично необхідну кількість повітря для згоряння одного кілограма палива?
5. Що таке горюча суміш та як визначити її кількість?
6. Що собою являє коефіцієнт надлишку повітря?
7. Як визначити кількість продуктів згоряння?
8. Що таке хімічний коефіцієнт молекулярної зміни горючої суміші при згорянні?
9. Що собою являє коефіцієнт залишкових газів?
10. Що собою являє теплота згоряння палива?

**Література:** [1, с. 27–44], [2, с. 39–48], [3, с.30–36], [4, с. 29–35], [5, с.30–36].

## **Тема 6 Дійсні цикли ДВЗ**

**6.1 Основні процеси дійсних циклів і фази газорозподілу.** Основні процеси дійсних циклів ДВЗ та їх послідовність. Кути зміщення відкриття та закриття впускних і випускних клапанів відносно положення поршня у мертвих точках.

### **Питання для самоперевірки**

1. Які ознаки характерні для дійсного робочого циклу ДВЗ?
2. Які процеси та в якій послідовності відбуваються в дійсному циклі ДВЗ?
3. Як процеси, що відбуваються в чотиритактному ДВЗ, пов'язані з переміщенням поршня та поворотом кривошипа?
4. Що таке фази газорозподілу?
5. Для чого відкриття та закриття клапанів слід здійснювати зі зміщенням відносно положення поршня у ВМТ і НМТ?
6. Що таке перекриття клапанів?

**Література:** [1, с. 45–48], [2, с. 49–54], [3, с. 37–41], [4, с. 36–40], [5, с. 37–41].

**6.2 Стан газу перед впускними та за випускними клапанами.** Тиск і температура навколишнього середовища. Втрата тиску та підігрів газу у системі впуску. Тиск і температура перед впускними клапанами. Опір в системі впуску та тиск за випускними клапанами.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Чому стан газу перед впускними та за випускними клапанами залежить від показників навколишнього середовища?
2. Чому дорівнюють тиск і температура навколишнього середовища за стандартних умов?
3. Як визначаються температура та тиск газу перед впускними клапанами ?
4. Як визначити тиск газу за випускними клапанами ДВЗ без наддуву?
5. Як визначити тиск газу за випускними клапанами ДВЗ з наддувом?

**Література:** [2, с. 55–57], [3, с. 41–43], [4, с. 49–42] , [5, с. 41–43].

**6.3 Процес наповнення.** Процес наповнення чотирьохтактного ДВЗ без наддуву та з наддувом. Діаграми процесу. Залишкові газів. Коефіцієнт залишкових газів. Тепловий баланс процесу наповнення. Температура та тиск наприкінці процесу наповнення. Коефіцієнт наповнення.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Як здійснюється процес наповнення ДВЗ?
2. Чим відрізняються процеси наповнення двигуна без наддуву та з наддувом?
3. Як визначити кількість і тиск залишкових газів?
4. Що таке коефіцієнт залишкових газів і як його визначити?
5. Як визначити кількість і тиск робочої суміші наприкінці наповнення?
6. Яке рівняння використовують для визначення температури робочої суміші наприкінці процесу наповнення та як її визначити?
7. Що собою являє коефіцієнт наповнення та як його визначити?

**Література:** [1, с. 49–60], [2, с. 58–63], [3, с. 41–47], [4, с. 42–46], [5, с. 41–47].

**6.4 Процес стиснення.** Закономірності зміни температури та тиску в процесі стиснення. Показник політропи стиску. Температура та тиск наприкінці процесу стиснення.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Як здійснюється процес стиснення?
2. Як змінюються температура та тиск газів у процесі стиснення та як їх визначити наприкінці процесу?
3. Що таке показник політропи стиску, як і чому він відрізняється від показника адіабати?
4. Які середні значення показника політропи стиску характерні для різних типів ДВЗ?

**Література:** [1, с. 61–64], [2, с. 64–66], [3, с. 47–49], [4, с. 46–48], [5, с. 47–49].

**6.5 Процес згоряння.** Особливості процесу згоряння різних типів ДВЗ. Процес згоряння у двигуні з іскровим запалюванням. Індикаторна діаграма процесу бензинового ДВЗ. Фази процесу. Випередження запалювання. Індикаторні діаграми ДВЗ під час оптимального, раннього та пізнього запалювання. Межі займистості робочої суміші. Процес згоряння у дизелі. Індикаторна діаграма процесу дизеля. Фази процесу. Попередження впорскування палива. Енергетичний баланс процесу згоряння. Коефіцієнт використання теплоти під час згоряння. Теплоємність газів. Температура, тиск і об'єм циліндра наприкінці процесу згоряння.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Чим відрізняються процеси згоряння ДВЗ із сумішоутворенням до стискання і дизеля?
2. Як здійснюється процес згоряння в бензиновому ДВЗ?
3. Із якою швидкістю переміщується фронт полум'я під час згоряння в бензиновому ДВЗ і від чого вона залежить ?
4. Для чого необхідно випередження запалювання в бензиновому ДВЗ?

5. Як змінюється тиск у циліндрі бензинового двигуна у процесі згоряння?
6. Які виділяють фази процесу згоряння у бензиновому ДВЗ?
7. Що таке межі займистості робочої суміші та у яких межах знаходяться межі займистості для різних палив, які використовуються в ДВЗ?
8. Як відбувається процес згоряння в дизелі?
9. Для чого необхідне випередження впорскування палива в дизелі?
10. Як змінюється тиск у циліндрі дизеля в процесі згоряння?
11. Які виділяють фази процесу згоряння у дизелі?
12. Яке рівняння використовують для визначення температури наприкінці процесу згоряння?
13. Як визначити складові енергетичного балансу процесу згоряння?
14. Що таке коефіцієнт використання теплоти під час згоряння?
15. Що таке коефіцієнт молекулярної зміни робочої суміші під час згоряння?
16. Чому під час згоряння змінюється теплоємність газу та як її визначити?
17. За яким рівнянням визначають температуру газів у циліндрі наприкінці згоряння?
18. Як визначити тиск наприкінці процесу згоряння?
19. Як визначити ступінь попереднього розширення?
20. Як визначити ступінь підвищення тиску?
21. Як визначити об'єм циліндра наприкінці згоряння?

**Література:** [1, с. 64–117], [2, с. 67–95], [3, с. 49–70], [4, с. 48–69], [5, с. 49–70].

**6.6 Процес розширення.** Закономірності зміни тиску та температури у процесі розширення. Показник політропи розширення. Тиск і температура наприкінці процесу розширення.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Як визначити ступінь подальшого розширення?
2. Як змінюються температура та тиск у процесі розширення?

3. Що являє собою показник політропи розширення?
4. Як визначити тиск і температуру наприкінці процесу розширення?

**Література:** [1, с. 117–119], [2, с. 95–97], [3, с. 71–72], [4, с. 70–71], [5, с. 71—72].

**6.7 Процес випуску.** Процес випуску ДВЗ без наддуву. Процес випуску дизеля з наддувом. Діаграми процесу.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Як здійснюється процес випуску у двигуні без наддуву?
2. Чим відрізняється процес випуску у дизелі з наддувом порівняно з дизелем без наддуву?

3. Яким приймають тиск у циліндрі під час розрахунку процесу випуску?

**Література:** [1, с. 120–121], [2, с. 98–99], [3, с. 72–73], [4, с. 71–72], [5, с. 72–73].

**6.8 Індикаторні діаграми ДВЗ.** Розрахункова та дійсна індикаторні діаграми. Коефіцієнт повноти індикаторної діаграми. Експериментальне визначення індикаторної діаграми.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Що являє собою індикаторна діаграма ДВЗ?
2. Із яких процесів складається індикаторна діаграма?
3. Які є види індикаторних діаграм?
4. Як будують індикаторні діаграми ДВЗ?
5. Чим відрізняються розрахункова від дійсної індикаторної діаграми ДВЗ?
6. Що таке коефіцієнт повноти індикаторної діаграми?
7. Як експериментально визначають індикаторну діаграму?
8. Яке обладнання використовують для експериментального визначення індикаторної діаграми ДВЗ?

9. Як проводять обробку експериментально отриманої індикаторної діаграми?
10. Як експериментально визначають ступінь підвищення тиску?
11. Як експериментально визначають ступінь попереднього розширення та ступінь подальшого розширення?
12. Як експериментально визначають показники політроп стиску та розширення ?
13. Які значення мають температура та тиск у характерних точках індикаторних діаграм різних типів ДВЗ?

**Література:** [1, с. 121–123], [2, с. 99–109], [3, с. 73–78] , [4, с. 72–78], [5, с. 73–78].

## **Тема 7 Показники ДВЗ**

**7.1 Індикаторні показники.** Індикаторна робота. Середній індикаторний тиск. Індикаторна потужність. Індикаторний ККД. Індикаторний питомий видаток палива. Коефіцієнтом повноти індикаторної діаграми

### **Питання для самоперевірки**

1. Що являють собою індикаторні показники ДВЗ?
2. Які є основні індикаторні показники двигуна?
3. Як визначають індикаторні показники двигуна?

**Література:** [1, с. 121–130], [2, с. 110–114], [3, с. 79–82], [4, с. 85-88], [5, с. 79–82]

**7.2 Ефективні показники.** Механічні втрати. Механічний ККД. Середній ефективний тиск. Ефективна потужність. Ефективний ККД. Ефективний питомий видаток палива.

### **Питання для самоперевірки**

1. Що являють собою ефективні показники ДВЗ?
2. Чим відрізняються ефективні показники від індикаторних?
3. Які є основні ефективні показники ДВЗ?

4. Як визначають ефективні показники ДВЗ?

**Література:** [1, с. 130–133], [2, с. 115–118], [3, с. 83–85], [4, с. 89–92], [5, с. 83–86]

**7.3 Екологічні показники.** Об'ємні та масові концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах. Нормування екологічних показників за Правилами ЄЕК ООН та стандартами України. Шляхи зменшення шкідливих викидів.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Які є шкідливі викиди у відпрацьованих газах ДВЗ?
2. Які показники використовують для оцінювання екологічності ДВЗ?
3. Який зв'язок між об'ємними та масовими концентраціями шкідливих речовин у ВГ?
4. Які шкідливі викиди регламентуються Правилами ЄЕК ООН?
5. Які шкідливі викиди регламентуються стандартами України?
6. Які є шляхи зменшення шкідливих викидів автомобільним ДВЗ?
7. Як оцінюють очисні властивості нейтралізатора?

**Література:** [1, с. 142–158], [2, с. 118–131], [3, с. 85–96], [4, с. 92–102], [5, с. 86–95]

#### **Тема 8 Тепловий баланс ДВЗ**

Рівняння теплового балансу. Складові теплового балансу ДВЗ.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Що являє собою рівняння теплового балансу автомобільного ДВЗ?
2. Які основні складові теплового балансу ДВЗ?
3. Як визначаються складові теплового балансу?
4. Як змінюються складові теплового балансу залежно від кутової швидкості обертання колінчастого вала?
5. Як змінюються складові теплового балансу залежно від навантаження двигуна?



6. Як змінюються складові теплового балансу залежно від складу горючої суміші?

**Література:** [1, с. 138–141], [2, с. 132–136], [3, с. 97–100], [4, с. 102–106], [5, с. 96–99].

### **Тема 9 Визначення вихідних даних для розрахунку ДВЗ**

Підходи до визначення вихідних даних. Визначення потрібного літражу та розмірів циліндрів.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Які вихідні дані для розрахунку ДВЗ визначають залежно від того, чи проводять розрахунки двигуна за його відомими конструктивними параметрами, чи проводять проектування нового двигуна?
2. Як визначають ефективну потужність ДВЗ, яка потрібна для автомобіля?
3. Як визначають робочий об'єм і розміри циліндрів автомобільного ДВЗ?
4. Яка послідовність розрахунку ДВЗ?

**Література:** [2, с. 137–138], [3, с. 189–197], [3, с. 102–102], [4, с. 107–108], [5, с. 100–101].

### **Тема 10 Характеристики ДВЗ**

Поняття характеристик. Вимоги до характеристик двигунів транспортних засобів.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Що являють собою характеристики ДВЗ?
2. Які використовують характеристики автомобільного двигуна?
3. Залежно від яких параметрів визначають характеристики ДВЗ?

**Література:** [1, с. 158–160], [2, с. 139–140], [3, с. 103], [4, с. 109], [5, с. 102].

**10.1 Швидкісні характеристики двигуна.** Зовнішня швидкісна характеристика бензинового ДВЗ. Зовнішня швидкісна характеристика дизеля. Визна-

чення закономірності зміни ефективної потужності, ефективного моменту та витрат палива ДВЗ. Пристосовність двигуна. Часткові швидкісні характеристики.

### **Питання для самоперевірки**

1. Що являють собою швидкісні характеристики?
2. Які є види швидкісних характеристик?
3. Як розраховують зовнішню швидкісну характеристику двигуна внутрішнього згорання?
4. Як експериментально визначають зовнішню швидкісну характеристику?
5. Яке обладнання використовують під час експериментального визначення зовнішньої швидкісної характеристики?

**Література:** [1, с. 160–179], [2, с. 140–151], [3, с. 103–129], [4, с. 109-115], [5, с. 102–108].

**10.2 Навантажувальні характеристики.** Навантажувальна характеристика дизеля. Навантажувальна характеристика бензинового ДВЗ. Визначення витрат палива.

### **Питання для самоперевірки**

1. Що являє собою навантажувальна характеристика?
2. Як розраховують навантажувальну характеристику?
3. Як експериментально визначають навантажувальну характеристику?

**Література:** [1, с. 179–187], [2, с. 151–154], [3, с. 110–111] [4, с. 116-117], [5, с. 109–110].

**10.3 Багатопараметрові характеристики.** Перевага багатопараметрових характеристик перед іншими характеристиками. Побудова та використання багатопараметрових характеристик.

### **Питання для самоперевірки**

1. Що являє собою багатопараметрова характеристика?

2. У чому перевага багатопараметрової характеристики порівняно з іншими характеристиками?

3. Як будують багатопараметрову характеристику?

4. Як визначити режими роботи ДВЗ, які відповідають мінімальним витратам палива при різних швидкостях обертання колінчастого вала та навантаженнях?

**Література:** [1, с. 195–197], [2, с. 154–162], [3, с. 112–118], [4, с. 118–124], [5, с. 111–117].

#### **10.4 Екологічні характеристики.** Екологічні характеристики дизеля.

Екологічні характеристики бензинового двигуна.

##### **Питання для самоперевірки**

1. Від чого залежать викиди шкідливих речовин ДВЗ?

2. Від чого перш за все залежать концентрації шкідливих речовин у ВГ ДВЗ?

3. Чому концентрації шкідливих речовин у ВГ бензинового двигуна відрізняються від їх концентрацій у дизелі?

4. Як визначають концентрації шкідливих речовин при наявності нейтралізатора?

**Література:** [1, с. 197–199], [2, с. 163–166], [3, с. 118–120], [4, с. 124–126], [5, с. 117–119].

**10.5 Регулювальні характеристики.** Регулювальні характеристики за кутом випередження запалювання. Регулювальні характеристики за складом суміші. Регулювальні характеристики дизеля за кутом випередження впорскування палива.

##### **Питання для самоперевірки**

1. Що являють собою регулювальні характеристики?

2. Які є види регулювальних характеристик?

3. З якою метою використовують регулювальні характеристики?

**Література:** [1, с. 186–195], [2, с. 167–169], [3, с. 120–121], [4, с. 126–127], [5, с. 119–120].

## **.Змістовий модуль 2 Динаміка автомобільних двигунів**

### **Тема 1 Кінематика КШМ**

Задачі розрахунків кінематики. Схеми КШМ для визначення закономірностей кінематики КШМ.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Які питання вирішують під час розгляду кінематики КШМ?
2. Як будують схему КШМ для визначення закономірностей руху поршня залежно від обертання кривошипу?
3. Яке положення поршня та кривошипа приймають за вихідне?

**Література:** [1, с. 294–296], [3, с. 139], [5, с. 138].

**1.1 Переміщення поршня.** Кінематика кривошипно-шатунного механізму. Розрахункова схема КШМ. Рівняння переміщення поршня. Переміщення першого та другого порядків.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Як із розгляду схеми КШМ визначають переміщення поршня?
2. Які складові входять до рівняння переміщення поршня?
3. У яких співвідношеннях знаходяться переміщення поршня першого та другого порядків?

**Література:** [1, с. 296–298], [3, с. 139–142], [5, с. 138–141].

**1.2 Об'єм циліндра.** Закономірність зміни об'єму циліндра. Визначення кута повороту кривошипа, який відповідає закінченню згоряння.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Як визначити зміну об'єму циліндра залежно від кута повороту кривошипа?
2. Як будують графіки переміщення поршня та зміни об'єму циліндра?

3. Як визначити кут повороту кривошипа наприкінці згоряння?

**Література:** [3, с. 142–145], [5, с. 141–143].

**1.3 Швидкість поршня.** Швидкість поршня, як похідна його переміщення за часом. Використання часткових похідних для визначення закономірності зміни швидкості поршня. Рівняння швидкості поршня. Швидкість першого та другого порядків.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Яке рівняння використовують для отримання рівняння швидкості поршня?
2. Які складові входять до рівняння швидкості поршня?
3. У яких співвідношеннях знаходяться швидкість першого та швидкість другого порядків?
4. Як будують графіки залежності швидкості поршня?
5. Чому максимум швидкості поршня зміщений до ВМТ відносно середнього його положення між мертвими точками?
6. У яких положеннях поршня його швидкість дорівнює нулю?

**Література:** [1, с. 299], [3, с. 145–147], [5, с. 144–145]

**1.4 Прискорення поршня.** Прискорення поршня, як похідна його швидкості за часом. Рівняння прискорення поршня. Прискорення першого та другого порядків.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Яке рівняння використовують для отримання рівняння прискорення поршня та як його отримують?
2. Які складові входять до рівняння прискорення поршня та як їх визначають?
3. У яких співвідношеннях знаходяться прискорення першого та другого порядків?
4. У яких положеннях поршня його прискорення дорівнює нулю?

5. У яких положеннях поршня прискорення максимальні?

6. Чому максимум прискорення поршня у ВМТ значно більший порівняно з прискоренням, коли поршень рухається біля НМТ?

**Література:** [1, с. 300–301], [3, с. 147–148], [5, с. 146–147]

**1.5 Кінематика багатоциліндрових двигунів.** Схеми багатоциліндрових ДВЗ. Рівномірне та нерівномірне чергування циліндрів. Кути зміщення робочих циклів при рівномірному та нерівномірному чергуванню циліндрів.

**Питання для самоперевірки:**

1. За якими схемами будують багатоциліндрові ДВЗ?

2. Виконання яких умов забезпечують рівномірне чергування циліндрів багатоциліндрового ДВЗ?

3. Як визначити кут повороту кривошипа любого циліндра багатоциліндрового ДВЗ відносно кута повороту кривошипа першого циліндра при рівномірному та при нерівномірному чергуванню циліндрів?

4. Як визначити кут між циліндрами двигуна з дворядним розташуванням циліндрів, у якого шатуни кожної пари з'єднані з одним кривошипом, для забезпечення рівномірного чергування циліндрів?

5. Чому у двигуна з дворядним розташуванням циліндрів кут чергування циліндрів залежить від кута між циліндрами?

6. Як зменшити кут між циліндрами, порівняно зі схемою з'єднання з одним кривошипом двох шатунів, для забезпечення рівномірного чергування циліндрів?

**Література** [3, с. 149–156], [5, с. 148–155].

## **Тема 2 Сили та моменти, що діють в КШМ**

**2.1 Визначення рухомих мас КШМ.** Розподілені та сконцентровані маси. Умови динамічної еквівалентності мас. Еквівалентні сконцентровані маси поршня, кривошипу та шатуна.

### Питання для самоперевірки

1. Для чого розподілені маси КШМ заміняють еквівалентними системами із сконцентрованими масами?
2. Як визначають приведені маси поршня?
3. Як визначають приведені маси кривошипа?
4. Як визначають приведені маси шатуна?
5. Які умови повинні бути виконані для приведення розподіленої маси шатуна до динамічно еквівалентної системи із сконцентрованими масами?
6. Як експериментально визначають положення центра мас шатуна, та його приведені маси?

**Література** [3, с. 157–160], [5, с. 156–159].

### 2.2 Сили та моменти, що діють у КШМ. Сили, що діють на поршень.

Сили тиску газів. Сили інерції. Сумарна сила, діюча на поршень. Сили, діючі на шатун. Сили, що діють на кривошип. Момент, який формується на кривошипі.

### Питання для самоперевірки

1. Які сили, що формуються під час руху КШМ залежать від їх мас?
2. Як складають схему дії сил в КШМ?
3. Які сили формуються в КШМ під час роботи ДВЗ?
4. Чому відбувається зміна величин та напрямку дії сил в КШМ?
5. Як діючі в КШМ сили розкладають на складові?
6. Які реакції формуються в результаті дії сил в КШМ?
7. Які сили діють на поршень?
8. Як визначають силу від тиску газів?
9. Як визначають силу інерції?
10. Які складові входять до рівняння сили інерції, що діє на поршень?
11. Чому максимум сили інерції, яка діє на поршень у ВМТ значно більший порівняно з максимумом сили інерції, коли поршень рухається біля НМТ?
12. Чому виникає сила, яка діє перпендикулярно вісі циліндра?
13. Як будують графіки сил, які діють на поршень?

**Література:** [1, с. 301–311], [3, с. 160–183], [5, с. 159–182].

**2.3 Обертальний момент на кривошипі та колінчастому валу.** Момент, який формується на кривошипі. Сумування моментів на кривошипах багатоциліндрового ДВЗ. Період зміни сумарного моменту ДВЗ з рівномірним і нерівномірним чергуванням робочих циклів. Середній момент на колінчастому валу багатоциліндрового ДВЗ. Розрахунок маховика.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Як визначають обертальний момент на кривошипі?
2. Від чого залежить період зміни обертального моменту багатоциліндрового двигуна та як його визначити?
3. Як визначають сумарний момент на колінчастому валу багатоциліндрового двигуна?
4. Як будують графік залежності сумарного моменту на колінчастому валу багатоциліндрового двигуна?
5. Чому момент на колінчастому валу змінюється за кутом повороту кривошипа?
6. Якими показниками оцінюють коливання моменту та кутової швидкості обертання колінчастого валу та як їх визначити?
7. Як визначають момент інерції та масу маховика для виконання вимог рівномірності руху колінчастого валу?

**Література:** [1, с. 308–318], [3, с. 183–190], [5, с. 182–189].

### **Тема 3 Урівноваження ДВЗ**

**3.1 Умови та критерії врівноваження ДВЗ.** Урівноважені та не врівноважені сили і моменти двигуна внутрішнього згоряння. Умови врівноваження двигуна. критерії врівноваження ДВЗ.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Які сили є врівноваженими, а які є не врівноваженими?
2. Які умови врівноваження ДВЗ?



3. Для чого потрібно проводити врівноваження ДВЗ?
4. Які показники використовують для оцінки достатньої врівноваженості ДВЗ?

**Література:** [1, с. 319–322], [3, с. 191–192], [5, с. 190–191].

**3.2 Методи врівноваження ДВЗ.** Урівноваження відцентрових сил. Урівноваження сил інерції першого порядку. Урівноваження сил інерції другого порядку. Урівноваження моментів від дії сил інерції.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Як урівноважують ДВЗ?
2. Як урівноважують відцентрові сили?
3. Як урівноважують моменти від дії відцентрових сил?
4. Чому противаги встановлюють з двох сторін відносно кривошипа?
5. Як визначають маси противаг?
6. Як урівноважують сили інерції, що діють на поршень?
7. Чи можливо врівноважити сили інерції встановленням противаг на колінчастому валу ДВЗ?
8. Чому для врівноваження ДВЗ противаги встановлюють на додаткових валах?
9. Як для врівноваження сил інерції визначити маси противаг?
10. Чому вирішуючи питання врівноваження сил інерції виникає потреба вирішувати також питання врівноваження моментів?
11. Як можна одночасно врівноважити сили інерції та моменти від цих сил?
12. Як визначають величини мас противаг для врівноваження сил інерції та моментів від дії цих сил?
13. Чому потрібно противаги на додаткових валах розміщувати по різні сторони відносно вісі циліндра?

**Література:** [1, с. 322–326], [3, с. 192–200], [5, с. 191–200].

**3.3 Урівноваження багатоциліндрових двигунів.** Методи урівноваження багатоциліндрових ДВЗ. Двигуни з непарним числом циліндрів. Двигуни з парним числом циліндрів. Аналіз зрівноваженості різних схем багатоциліндрових ДВЗ.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Як урівноважують багатоциліндрові ДВЗ?
2. В чому різниця врівноваження ДВЗ з парним і непарним числом циліндрів?
3. Які ДВЗ є врівноваженими без застосування противаг?
4. Як урівноважують двоциліндрові ДВЗ?
5. Яким є за умов урівноваженості чотирициліндровий ДВЗ з рядним розташуванням циліндрів?
6. Яким є за умов урівноваженості чотирициліндровий ДВЗ з дворядним розташуванням циліндрів?
7. Яким є за умови врівноваженості шестициліндровий ДВЗ?
8. Яким є за умови врівноваженості восьмициліндровий ДВЗ?

**Література:** [1, с. 326–343], [3, с. 201–215], [5, с. 200–214].

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Є., Тимченко Ф. Ф. Автомобільні двигуни: підручник. Київ: Арістей, 2004. 476 с.
2. Шапко В. Ф. Автомобільні двигуни. Основи теорії та характеристики поршневих двигунів внутрішнього згоряння: навчальний посібник. Харків: Точка, 2011. 194 с.
3. Шапко В. Ф., Шапко С. В. Основи теорії та динаміки автомобільних двигунів: навчальний посібник. Харків: Точка, 2013. 232 с.
4. Шапко В. Ф. Автомобільні двигуни. Основи теорії та характеристики поршневих двигунів внутрішнього згоряння : навчальний посібник, 2-ге видання. Харків: Точка, 2014. 148 с.
5. Шапко В. Ф., Шапко С. В. Основи теорії та динаміки автомобільних двигунів: підручник. Харків: Точка, 2016. 232 с.

Розширений список допоміжної літератури наведено у підручнику [5]:  
Шапко В. Ф., Шапко С. В. Основи теорії та динаміки автомобільних двигунів: підручник. Харків: Точка, 2016. 232 с.

Методичні вказівки щодо самостійної роботи з навчальної дисципліни «Двигуни внутрішнього згоряння» для студентів денної та заочної форм навчання зі спеціальності 133 – «Галузеве машинобудування» освітньо-професійної програми «Галузеве машинобудування» освітнього ступеня «Бакалавр»

Укладач к. т. н., проф. В. Ф. Шапко

Відповідальний за випуск зав. кафедри «Автомобілі та трактори»

Е. С. Клімов.

Підп. до др.10. 10. 2023. Формат 60x84 1/16. Папір тип. Друк ризографія.

Ум. друк. арк. 1,17. Наклад 2 прим. Зам. № 21513. Безкоштовно.

Редакційно-видавничий відділ  
Кременчуцького національного університету  
імені Михайла Остроградського  
вул. Університетська, 20, м. Кременчук, 39600