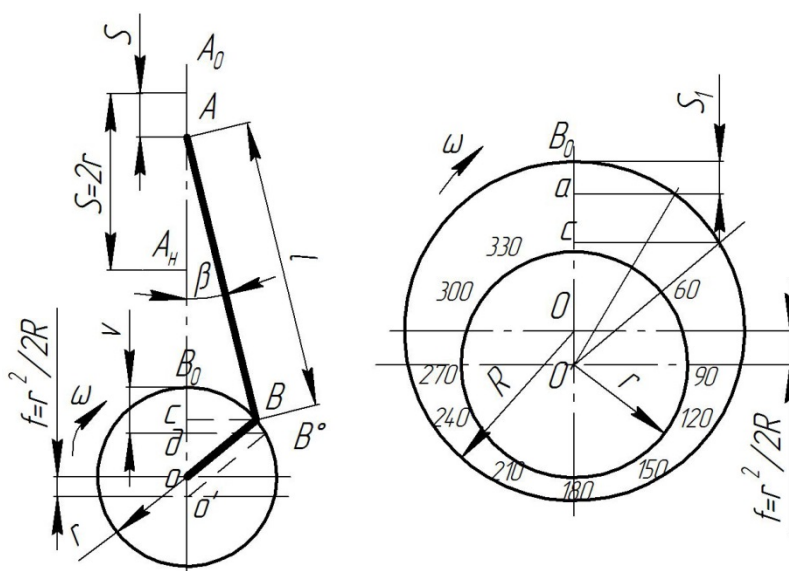


АВТОМОБІЛЬНІ ДВИГУНИ

МЕТОДИ ПОБУДОВИ ТЕОРЕТИЧНИХ ДІАГРАМ ТЕПЛОВОГО, ДИНАМІЧНОГО РОЗРАХУНКІВ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ

Навчальний посібник для студентів
галузі знань 27 – Транспорт
спеціальності 274 – Автомобільний транспорт



УДК 621.4(075)

A 18

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протоко № 9 від 26.05.2022 р.)

Автори:

Анісімов В. Ф., доктор технічних наук, професор,

Біліченко В. В., доктор технічних наук, професор,

Музичук В. І., кандидат технічних наук, доцент,

Митко М. В., кандидат технічних наук, старший викладач.

Рецензенти:

Аулін В. В., доктор технічних наук, професор, професор кафедри експлуатації та ремонту машин Центральноукраїнського національного технічного університету,

Севостьянов І. В., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв Вінницького національного аграрного університету,

Макаров В. А., доктор технічних наук, професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету.

A 18 **Автомобільні** двигуни. Методи побудови теоретичних діаграм теплового, динамічного розрахунків та характеристики автотракторних двигунів: навч. посіб. / В. Ф. Анісімов, В. В. Біліченко, В. І. Музичук, М. В. Митко. – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 172 с.

ISBN 978-966-641-895-4

У навчальному посібнику розглянуті загальні питання будови теоретичних діаграм розрахункового циклу та теоретичні характеристики поршневих ДВЗ, теоретичні діаграми переміщення, швидкості та прискорення поршня, сил і моментів, які діють в двигунах внутрішнього згорання та режими роботи двигунів.

Сформульовані навчальні цілі, що окреслюють навички та уміння бакалаврів з автомобільного транспорту.

Навчальний посібник призначений для студентів галузі знань: 27 – Транспорт, спеціальності: 274 – Автомобільний транспорт і програмі дисципліни «Автомобільні двигуни».

УДК 621.4(075)

ISBN 978-966-641-895-4

© В. Анісімов, В. Біліченко, В. Музичук, М. Митко, 2022 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНА ДІАГРАМА РОЗРАХУНКОВОГО ЦИКЛУ ПОРШНЕВОГО ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ	7
1.1 Основні рівняння робочого циклу двигуна	7
1.2 Приклад теплового розрахунку дизельного двигуна Д-144	12
1.2.1 Параметри робочого тіла.....	12
1.2.2 Параметри навколишнього середовища	12
1.2.3 Процес впуску	12
1.2.4 Процес стиснення	13
1.2.5 Процес згоряння.....	13
1.2.6 Процес розширення	14
1.2.7 Ефективні показники двигуна	15
1.2.8 Основні розміри циліндра.....	15
1.3 Методи побудови діаграми розрахункового циклу	16
1.3.1 Аналітичний метод визначення координат точок політроп стиснення і розширення при побудові їх в координатах $P-V$	17
1.3.2 Аналітичний метод визначення координат точок політроп стиснення і розширення при побудові їх в координатах $P-S$ і $P-\varphi$	20
1.3.3 Приклад побудови теоретичної індикаторної діаграми дизеля Д-144	22
1.3.4 Графічний метод побудови політроп стиснення і розширення методом Брауера	25
1.3.5 Графічний спосіб побудови політроп стиснення і розширення методом Толле	26
1.3.6 Аналітичний метод перебудови індикаторної діаграми з координат $P-V$ в координати $P-\alpha$	28
1.3.7 Графічний метод перебудови індикаторної діаграми з координат $P-V$ в координати $P-\alpha$	31
1.3.8 Визначення середнього індикаторного тиску дійсного циклу за розгорнутою діаграмою.....	32
Питання для самоконтролю	35
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ..	36
2.1 Зовнішня швидкісна характеристика	36
2.2 Навантажувальна характеристика.....	39
Питання для самоконтролю	40
РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНІ ДІАГРАМИ ПЕРЕМІЩЕННЯ ШВИДКОСТІ ТА ПРИСКОРЕННЯ ПОРШНЯ.....	41
3.1 Переміщення поршня	41
3.1.1 Діаграма Брікса Ф. Л. для визначення $S_x = f(\varphi)$	44

3.1.2 Графічний метод побудови кривої переміщення поршня	45
3.2. Швидкість поршня	47
3.2.1 Графічний метод побудови кривої швидкості поршня	49
3.2.2 Діаграма Брікса для швидкості поршня	50
3.3 Прискорення поршня	51
3.3.1 Графічний метод визначення прискорення поршня методом Толле	53
3.3.2 Графічний метод побудови кривої прискорення поршня	54
3.4 Кінематика шатуна	55
3.4.1 Кутове переміщення шатуна	56
3.4.2 Кутова швидкість коливання шатуна	56
3.4.3 Кутове прискорення шатуна	57
3.4.4 Приклад визначення кінематичних параметрів поршня і шатуна	58
Питання для самоконтролю	59
РОЗДІЛ 4 ТЕОРЕТИЧНІ ДІАГРАМИ СИЛ І МОМЕНТІВ, ЯКІ ДІЮТЬ В ДВИГУНАХ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ	60
4.1 Приведення мас рухомих деталей кривошипно-шатунного механізму	60
4.2 Сили інерції кривошипно-шатунного механізму	64
4.2.1 Графічна побудова кривої сили P_j	65
4.2.2 Метод обертових векторів	66
4.2.3 Приклад розрахунку сил інерції	67
4.3 Сумарні сили, які діють в кривошипному механізмі	67
4.4 Сили, які діють на шатунні шийки колінчастого вала	69
4.5 Сили, що діють на корінні шийки колінчастого вала	74
4.5.1 Табличний метод побудови векторної діаграми сил, які діють на корінну шийку	74
4.5.2 Графічний метод побудови векторної діаграми сил, що діють на корінну шийку	79
4.6 Крутний момент багатоциліндрового двигуна і моменти, що скручують шийки вала	81
Питання для самоконтролю	86
РОЗДІЛ 5 РЕЖИМИ РОБОТИ І ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГУНІВ	87
5.1 Режими роботи двигунів внутрішнього згорання	87
5.2 Характеристики (статичні) двигунів внутрішнього згорання	89
5.3 Регульовальні характеристики	93
5.3.1 Характеристики за складом суміші	93
<i>Характеристики бензинового двигуна</i>	<i>93</i>
<i>Характеристика дизеля</i>	<i>96</i>
5.3.2 Характеристика за кутом випередження запалення та подачі палива	98
<i>Характеристика по куту випередження запалення</i>	<i>99</i>
<i>Характеристика по куту випередження подачі палива</i>	<i>100</i>

5.4 Навантажувальні характеристики	102
5.4.1 Навантажувальна (дросельна) характеристика бензинового двигуна.....	102
5.4.2 Характеристика навантаження дизеля.....	104
5.5 Швидкісні характеристики	108
5.5.1 Зовнішня характеристика бензинового двигуна.....	110
5.5.2 Часткові характеристики бензинового двигуна.....	114
5.5.3 Зовнішня характеристика дизеля	116
5.5.4 Часткові характеристики дизеля	121
5.6 Інші види характеристик двигунів	122
5.6.1 Гвинтові характеристики	122
5.6.2 Характеристика холостого ходу	125
5.6.3 Регуляторні характеристики	128
5.6.4 Комбіновані характеристики	133
5.7 Перехідні процеси.....	134
5.7.1 Види перехідних процесів.....	134
5.7.2 Процес пуску	136
5.7.3 Процеси розгону	137
5.8 Характеристики інших видів теплових двигунів.....	139
5.8.1 Характеристики роторно-поршневих двигунів.....	139
5.8.2 Характеристика двигунів із зовнішнім підведенням теплоти	140
5.8.3 Характеристики газотурбінних двигунів.....	142
Питання для самоконтролю	146
ЛІТЕРАТУРА	147
ДОДАТКИ	150
Додаток А.....	151
Додаток Б	152
Додаток В	154
Додаток Г	156
Додаток Д.....	158
Додаток Ж.....	160
Додаток К.....	162
Додаток Л.....	164
Додаток М.....	170
Додаток Н.....	171

ВСТУП

Прогрес в автомобільній промисловості, подальше збільшення вантажообороту автомобільного транспорту, потужних і надійних автотранспортних засобів, передбачає не тільки кількісний ріст автомобільного парку, але й значне покращення використання наявних автомобілів і тракторів, підвищення культури їх експлуатації, збільшення міжремонтних строків служби.

В галузі розвитку та удосконалення автотракторних двигунів основними задачами є: розширення використання дизельних двигунів, покращення їх паливної економічності, зниження питомої маси, вартості їх виробництва та експлуатації.

Виконання поставлених задач потребує від спеціалістів, пов'язаних з виробництвом і експлуатацією автотракторних двигунів, глибоких знань теорії, конструкції та розрахунку двигунів внутрішнього згорання.

В процесі виконання курсових і дипломних проектів по тракторах і автомобілях студент повинен виконати графічну частину за теоретичними діаграмами, які характеризують якість проходження робочого процесу двигуна; характер зміни зусиль, що діють на шатунні і корінні шийки колінчастого вала; урівноваженість двигуна, кінематику і динаміку газорозподільного механізму. Для полегшення розв'язання даної задачі в навчальному посібнику наведені основні методи розрахунків і побудови вказаних теоретичних діаграм.

Тепловий розрахунок є першим етапом проектування, на основі якого визначаються потужності і економічні показники двигуна, а також обираються шляхи їх подальшого поліпшення. Тепловий розрахунок дає початкові дані для кінематичного, динамічного розрахунків, а також розрахунків теплонапруженого стану основних деталей двигуна.

Основою теплового розрахунку є умовний цикл - проміжний між ідеальним термодинамічним і дійсним, який здійснюється в реальному двигуні внутрішнього згорання. При цьому враховуються різні втрати в робочому циліндрі, властивості реального робочого тіла і інші відхилення від ідеального термодинамічного циклу. Метод теплового розрахунку, прийнятий в технічній літературі, в своїй основі був вперше розроблений професором В. І. Гринецьким в 1907 році і надалі розвинений стосовно різних типів двигунів.

Автори навчального посібника мають мету не тільки допомогти студентам у вивченні матеріалу, засвоєнні глибоких знань, але і в практичному використанні цих знань при курсовому і дипломному проектуванні та розрахунках автотракторних двигунів.

РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНА ДІАГРАМА РОЗРАХУНКОВОГО ЦИКЛУ ПОРШНЕВОГО ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

1.1 Основні рівняння робочого циклу двигуна

Для побудови діаграми розрахункового циклу двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) необхідно попередньо виконати розрахунок цього циклу, щоб мати необхідні параметри, або потрібно мати ці параметри заданими. Такими параметрами є: ступінь стиснення ε ; розміри робочого циліндра D, S ; ступінь попереднього розширення $\rho = \frac{V_z}{V_c}$; показники політроп стиснення і розширення

n_1, n_2 ; тиски характерних точок циклу (рис. 1.1): початку стиснення P_a (точка a); кінця стиснення P_c (точка c); кінця згорання P_z (точка z); кінець розширення P_e (точка e); початок випускання P_e (точка e), та інші параметри.

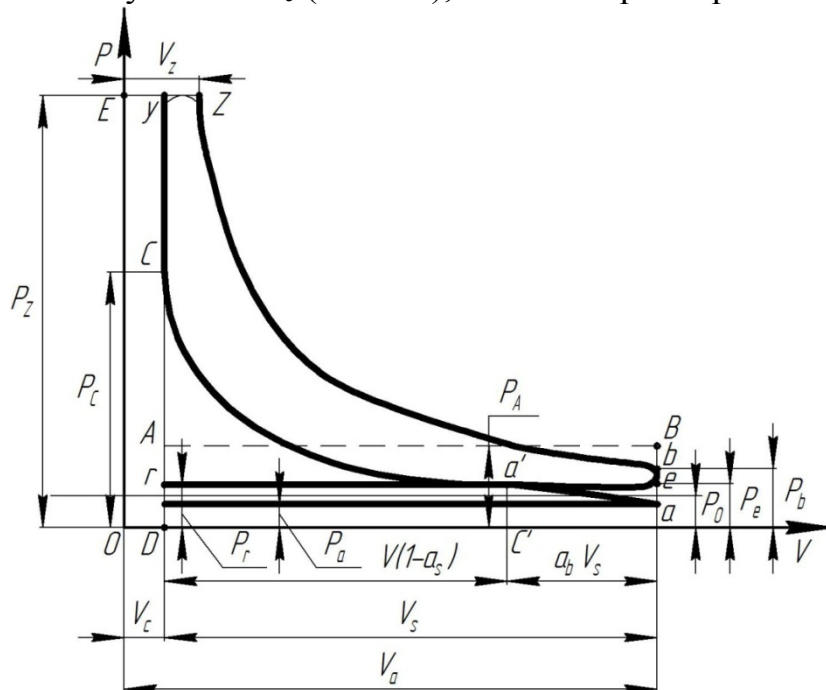


Рис. 1.1 - Схема побудови діаграми розрахункового циклу в координатах $P-V$ для чотиритактного двигуна з samozapalюванням, без наддування

Необхідно розрізняти номінальний ступінь стиснення ε_n і дійсний ступінь стиснення ε_d .

Номінальним ступенем стиснення ε_n називається відношення повного об'єму циліндра до об'єму простору стиснення:

$$\varepsilon_n = \frac{OC}{OD} = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_s + V_c}{V_c}. \quad (1.1)$$

Дійсним ступенем стиснення ε_d називається відношення об'єму робочого тіла в момент закриття клапанів газорозподілення, які закриваються останніми в

такті стиснення, до мінімального об'єму робочого тіла (об'єму простору стиснення):

$$\varepsilon_{\partial} = \frac{\overline{OC}}{OD} = \frac{V_s(1-a_B)+V_c}{V_c}. \quad (1.2)$$

Звідси отримуємо:

$$V_c = \frac{V_s}{\varepsilon_n - 1}; \quad V_c = \frac{V_s}{\varepsilon_n - 1}; \quad (1.3)$$

$$\varepsilon_{\partial} = \varepsilon_n(1-a_B) + a_B; \quad (1.4)$$

$$\varepsilon_n = \frac{\varepsilon_{\partial} - a_B}{1 - a_B}. \quad (1.5)$$

В теоретичних діаграмах чотиритактного ДВЗ, без наддування, зазвичай, приймають:

$$\varepsilon_n = \varepsilon_{\partial} = \frac{V_s + V_c}{V_c}, \quad V_c = \frac{V_s}{\varepsilon_{\partial} - 1}. \quad (1.6)$$

Основні рівняння робочого циклу двигуна:

$$L_0 = \frac{8 \cdot C / 3 + 8H - O}{0,23}; \quad (1.7)$$

$$M_1 = \alpha \cdot L_0; \quad (1.8)$$

$$M_2 = \alpha \cdot L_0 + \frac{H}{4} + \frac{O}{32}; \quad (1.9)$$

$$\beta_0 = \frac{M_2}{M_1}. \quad (1.10)$$

Де L_0 - теоретично необхідна кількість повітря для згорання 1 кг палива, $L_0=15$ кг;

M_1 - кількість свіжого заряду, кМоль;

α - коефіцієнт надлишку повітря;

M_2 - загальна кількість продуктів згорання, кМоль;

β_0 - хімічний коефіцієнт молекулярної зміни горючої суміші, (бензинові двигуни $\beta_0=1,08 \dots 1,1$, дизельні двигуни $\beta_0=1,03 \dots 1,04$).

$$P_a = P_k - \Delta P_a; \quad (1.11)$$

$$\Delta P_a = \frac{(\beta_1^2 + \xi_{en})(\omega_{en}^2 \cdot \rho_k \cdot 10^{-6})}{2}; \quad (1.12)$$

$$\gamma_r = \frac{T_k + \Delta t}{T_r} \frac{P_r}{\varepsilon P_a - P_r}; \quad (1.13)$$

$$T_a = \frac{T_k + \Delta t + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r}; \quad (1.14)$$

$$\eta_v = \frac{T_k (\varepsilon P_a - P_r)}{(T_k + \Delta T)(\varepsilon - 1) P_k}; \quad (1.15)$$

(110 дБ при частоті 300 Гц). При подальшому рості частот (до 2000 Гц) рівень звукового тиску значно понижується (до 75...85 дБ).

Порівняння спектру шуму дизеля зі спектром згаданого вище ГТД показує, що в області низьких та середніх частот звуковий тиск дизеля вищий, ніж у ГПД, у середньому на 18 дБ, а в області високих частот (вище 3000 Гц) рівень звукового тиску вище у ГПД в середньому на 13 дБ.

Результати досліджень дозволяють вважати, що перевищення санітарних норм на рівень звукового тиску дизелями здебільшого можуть бути в області низьких та середніх частот, а у газотурбінного двигуна – в області високих частот.

Питання для самоконтролю

1. Що таке неустановлені режими роботи двигуна?
2. Що таке перехідний процес роботи двигуна?
3. Дайте основні характеристики двигунів?
4. Дайте основні регульовальні характеристики двигунів?
5. Що таке характеристика двигуна за складом суміші?
6. Чим відрізняються характеристики за складом суміші бензинових і дизельних двигунів?
7. Які відмінні особливості навантажувальних характеристик бензинових і дизельних двигунів?
8. Які відмінні особливості швидкісних характеристик бензинових і дизельних двигунів?
9. Який параметр характеризує здатність двигуна переборювати збільшений момент опору?
10. Які характеристики двигуна відносяться до інших видів характеристик?
11. Що таке перехідні характеристики двигуна?

ЛІТЕРАТУРА

1. Анісімов В. Ф., Дмитрієва А. В., Севостьянов С. М.; Тепловий та динамічний розрахунок автомобільних двигунів [Текст]: Навч. посіб. для студ. спец. "Автомобілі та автомобільне госп-во" / Вінницький національний технічний ун-т. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 130 с.
2. Анісімов В. Ф. Конструкція і розрахунок автомобільних і тракторних двигунів: навч. посіб. / В. Ф. Анісімов, І. Г. Савчинський. – Вінниця: ВДТУ, 2001. – 90 с.
3. Анісімов В. Ф. Шляхи і методи підвищення довговічності і надійності роботи паливної апаратури автотракторних двигунів: монографія. / В. Ф. Анісімов, В. І. Музичук, А. А. П'ясецький, В. Б. Рябошапка. – Вінниця: ВНАУ, 2012. - 142 с.
4. Антонович Є. А., Василишин Я. В., Шпільчак В. А. Креслення: Навч. посібник/ За ред. проф. Є. А. Антоновича. — Львів: Світ, 2006. — 512 с.
5. Біліченко В. В. Автомобілі і автомобільне господарство. Дипломне проектування: навч. посіб. / В. В. Біліченко, В. Л. Крещенецький, В. В. Варчук. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 172 с.
6. Біліченко В. В., Крещенецький В. Л., Романюк С. О., Смирнов Є. В. Виробничо-технічна база підприємства автомобільного транспорту : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2013. 182 с.
7. Білоконь Я. Ю. Автотракторні двигуни. Основи конструкції та роботи. / Я. Ю. Білоконь, Б. С. Стефанівський. – К.: УДАУ, 1998. – 244 с.
8. Білоконь Я. Ю. Трактори та автомобілі: підручник / Я. Ю. Білоконь, А. І. Окоча, С. О. Войцехівський. – К.: Вища школа, 2003. – 560 с.
9. Бойко М. Ф. Трактори та автомобілі. Ч.2. Електрообладнання: навч. посіб. / М. Ф. Бойко. – К.: Вища освіта, 2001. – 234 с.
10. Будова автомобіля: Навчальний посібник / А. І. Панченко, А. А. Волошина, О. В. Болтянський, І. І. Мілаєва, І. А. Панченко, А. А. Волошин. Мелітополь: ВПЦ «Люкс», 2021. 247 с.
11. Бучок В. С. Трактори та автомобілі: навч. посіб. / В. С. Бучок. – К: Аграрна освіта, 2008. – 331 с.
12. Випробування двигунів внутрішнього згоряння: Навч. посібник / Ю. Ф. Гутаревич, А. О. Корпач – К.: НТУ, 2002. – 191 с.
13. Водяник І. І. Експлуатаційні властивості тракторів і автомобілів. К.: Урожай, 1997. – 224 с.
14. Гашук П. М., Миськів Т. Г., Нікіпчук С. В. Автомобільні двигуни. Тепловий та динамічний розрахунок: Навчальний посібник. – Львів: Українські технології, 2006. – 144 с.
15. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т. 5. Екологізація ДВЗ / За ред. проф. А. П. Марченка та засл. діяча науки України проф. А. Ф. Шеховцова. – Харків: Прапор, 2004. – 360 с.
16. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т. 6. Надійність ДВЗ / За ред. проф. А. П. Марченка, засл. діяча науки України проф. А. Ф. Шеховцова Харків: Видавництво ХНАДУ, 2004. – 324 с.

17. Захарчук В. І. Основи теорії та конструкції автомобільних двигунів : навч. посіб. / В. І. Захарчук. – Луцьк : ЛНТУ, 2011. – 233 с.
18. Ільченко В. Ю. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві / В. Ю. Ільченко, П. Л. Карасьов, А. С. Лімонт. – К.: Урожай, 1998. – 288 с.
19. Козаченко О. В. Практикум з технічної експлуатації сільськогосподарської техніки: монографія. / О. В. Козаченко, І. П. Сичов. – Харків: ХДТУСГ: Торнадо, 2001. – 374 с.
20. Кобилянський О. В. Основи охорони праці : навчальний посібник / О. В. Кобилянський, М. С. Лемешев, О. В. Березюк. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 188 с.
21. Конструкції автомобілів і тракторів: Лабораторний практикум. А. М. Кізман. - К.: ІСДО. – 2010. - 488 с.
22. Лебедев А. Т. Трактори та автомобілі. Ч.1. Автотракторні двигуни: навч. посіб. / А. Т. Лебедев, М. Г. Сандомирський, М. Ф. Бойко. – К.: Вища школа, 2000. – 357 с.
23. Митко М. В. Підвищення ефективності роботи автотранспортних підприємств удосконаленням структури виробничих підрозділів: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Митко Микола Васильович. – К., 2019. – 251 с.
24. Митко М. В. Підвищення ефективності роботи автотранспортних підприємств удосконаленням структури виробничих підрозділів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.20 / Митко Микола Васильович. – К, 2019. – 20 с.
25. Митко М. В. Удосконалення структури виробничих підрозділів з обслуговування та ремонту автомобілів. Вісник Вінницького політехнічного інституту. Науковий журнал. Вінниця: ВНТУ, 2018. №6 (141). С. 104–110.
26. Музичук В. І. Організація робіт підприємств технічного обслуговування: навч. посіб. / В. І. Музичук, В. Ф. Анісімов. - Вінниця: ФОП Рогальська І. О., 2012. - 240 с.
27. Музичук В. І. Приводні вали транспортних засобів. Дослідження, проектування, експлуатація: монографія. / В. І. Музичук, В. Ф. Анісімов, О. В. Нахайчук, Ю. М. Козак. - Вінниця: ФОП Рогальська І. О., 2013.- 337 с.
28. Надикто В. Т. Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в землеробстві: Навчальний посібник / В. Т. Надикто, М. Л. Крижачківський, В. М. Кюрчев, С. Л. Абдула. – Мелітополь, 2005. – 337с.
29. Огородніков В. А. Елементи динаміки та міцність машин: навч. посіб. / В. А. Огородніков, В. І. Музичук, О. В. Нахайчук. – Вінниця: ВЦ ВДАУ, 2008. – 123 с.
30. Огородніков В. А. Механіка процесів холодного формозмінювання з однотипними схемами механізму деформації: монографія. / В. А. Огородніков, В. І. Музичук, О. В. Нахайчук. – В.: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 179 с.
31. Охмат П. К., Мельниченко В. І. Основи теорії та розрахунки трактора і автомобіля: Курс лекцій : Навчальний посібник. – Дніпропетровськ.: ДДАУ, ТОВ «ЕНЕМ», 2009. – 320 с.

32. Практичні основи діагностування автомобільних двигунів : навч. посібник / В. Д. Мигаль, В. А. Корогодський, О. І. Воронков, І. М. Нікітченко. – Харків : ХНАДУ, 2021. – 412 с.
33. Сажко В.А. Електрообладнання автомобілів і тракторів: Підручник. - К.: Каравела, 2009.- 400 с.
34. Самокиш М. І. Двигуни сільськогосподарських енергетичних засобів: навч. посіб. для студ. інж.-техн. спец. вищ. навч. с.-г. закл. I – IV рівнів акредитації. / М. І. Самокиш, М. М. Клевцов, А. М. Божок, І. М. Бендера. – К.: Урожай, 1998. – 320 с.
35. Сандомирський М. Г. Трактори та автомобілі. Ч. 1. Автотракторні двигуни: Навч. посібник / М. Г. Сандомирський, А. Т. Лебедев та ін.; За ред. проф. А. Т. Лебедева. – К.: Вища шк., 2000. – 357 с.
36. Сирота В. І. Автомобілі. Основи конструкції, теорія. (Навчальний посібник. 2–ге видання, виправлене та доповнене). В. І. Сирота, В. П. Сахно. К.: Арістей, 2008. 288 с.
37. Строков О. П. Технічне обслуговування та ремонт вантажних і легкових автомобілів, автобусів: Підручник / О. П. Строков - К.: Грамота, 2005. - 350 с.
38. Тепловий розрахунок автомобільного двигуна. Методичні вказівки до виконання практичних робіт та розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Автомобільні двигуни» для підготовки здобувачів вищої освіти за спеціальністю 274 – «Автомобільний транспорт» / Укл.: Кужельний Я. В., Скляр В. М., Литвин О. О. – Чернігів: ЧНТУ, 2020. – 36 с.
39. Чабанний В. Я. Ремонт автомобілів: навч. посіб. / В. Я. Чабанний. – Кіровоград: Кіровоградська районна друкарня, 2007. – 720 с.
40. Чабанний В. Я. Ремонт автомобілів: навч. посіб. / В. Я. Чабанний. – Кіровоград: Центральне Українське видавництво, 2007. – 348 с.
41. Шевченко А. В. Інженерна графіка: навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2009. 174 с.
42. Шпачук В. П. Технічна механіка: навчальний посібник / В. П. Шпачук, М. С. Золотов, В. О. Скляр; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ, 2015. – 277 с.
43. І. В. Гунько, А. А. П'ясецький, С. А. Бурлака. Система паливоподачі дизельного двигуна з електронним регулюванням складу дозованої паливної суміші. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК», № 2(97) – С. 47-51.
44. В. Ф. Анісімов, В. Б. Рябошапка. Апроксимація і моделювання процесу згорання в сільськогосподарських тракторних дизелях з використанням біопалива. Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції [«Сучасні агротехнології: тенденції та інновації»]. Вінниця 2015. у 3 т. Т.3.: РВВ ВНАУ. С. 4-7.
45. Комаха В. П., Гуцаленко О. В., Ковальчук О. С. Investigation of plants deformation properties of the grain pile. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК», № 2(97). 2017 – С. 33-36

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця 2.2 - Побудова зовнішньої швидкісної характеристики бензинового двигуна

n_x, XB^{-1}	n_n, XB^{-1}	$\frac{n_x}{n_n}$	$N_{\text{сн}}, \text{кВт}$	$\frac{n_x}{n_n} \left[1 + \frac{n_x}{n_n} - \left(\frac{n_x}{n_n} \right)^2 \right]$	$N_e, \text{кВт}$	$\frac{3 \cdot 10^4}{\pi}$	$M_e, \text{Н} \cdot \text{м}$	$\frac{g_e, \text{г}}{\varepsilon \cdot \text{кВт} \cdot \text{год}}$	$\left[1,2 - \frac{n_x}{n_n} + 0,8 \left(\frac{n_x}{n_n} \right)^2 \right]$	$\frac{g_e, \text{г}}{\varepsilon \cdot \text{кВт} \cdot \text{год}}$	$G_m, \text{кг/год}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1000	42000	0,238	90	0,281	25,29	9554	242	260	1,007	262	6,6
1800	42000	0,429	90	0,534	48,06	9554	256	260	0,918	239	11,5
2600	42000	0,619	90	0,765	68,85	9554	263	260	0,887	231	15,8
3400	42000	0,809	90	0,934	84,06	9554	236	260	0,945	245	20,6
4200	42000	1,000	90	1,000	90,00	9554	205	260	1,000	260	23,4
5000	42000	1,09	90	0,934	84,06	9554	162	260	1,060	276	24,0

Додаток М

Таблиця 4.7 - Сили, які діють на корінні шийки колінчастого вала

φ	$\varphi_i (\varphi_3)$	$T_i (T_3)$	$K_i (K_3)$	$\varphi_{i+1} (\varphi_4)$	$T_{i+1} (\varphi_4)$	$T_{i+1} (\varphi_4)$	$K_{i+1} (K_4)$	$T_i' (T_3')$	$K_i' (K_3')$	$T_{i+1}'' (T_4'')$	$K_{i+1}'' (K_4'')$	$T_{i+1}''' \sin \varphi$	$T_{i+1}''' \cos \varphi$	$K_{i+1}'' \sin \varphi$	$K_{i+1}'' \cos \varphi$	$T_1 - (i+1)$	$\varphi_i (\varphi_3)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
0	480	T_{480}	K_{480}	120	T_{120}	K_{120}	$0,5T_{480}$	$0,5K_{480}$	"-	"-	$0,5T_{120}$	0	$0,5T_{120}$	0	$0,5K_{120}$		
15	495	T_{495}	K_{495}	135	T_{135}	K_{135}	"-	"-	$0,5T_{135}$	"-	0	$0,5T_{135}$	0	$0,5K_{135}$			
30	510	T_{510}	K_{510}	150	T_{150}	K_{150}	"-	"-	"-	"-	0	$0,5T_{150}$	0	$0,5K_{150}$			
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮			
180	660	T_{660}	K_{660}	300	T_{300}	K_{300}	"-	"-	"-	"-	0	$0,5T_{300}$	0	$0,5K_{300}$			
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮			
360	120	T_{120}	K_{120}	480	T_{480}	K_{480}	"-	"-	"-	$0,5K_{480}$	0	$0,5T_{480}$	0	$0,5K_{480}$			
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮			
720	480	T_{480}	K_{480}	120	T_{120}	K_{120}	"-	"-	$0,5T_{120}$	"-	0	$0,5T_{120}$	0	$0,5K_{120}$			Скласти графи 8 + 13
																	Скласти графи 9 + 15

Додаток Н

Таблиця 4.8 - Крутні моменти, що діють на корінні шийки колінчастого вала

α_1^0	T_6	ΣT_6 шийка 5-6	T_5	ΣT_{6-5} шийка 4-5	T_4	ΣT_{6-4} шийка 3-4	T_3	ΣT_{6-3} шийка 2-3	T_2	ΣT_{6-2} шийка 1-2	T_1	ΣT_{6-1} шийка 0-1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	T360	T360	T600	$\Sigma T_6 + T600$	T120	$\Sigma T_{6-5} + T120$	T480	$\Sigma T_{6-4} + T480$	T240	$\Sigma T_{6-3} + T240$	T0	$\Sigma T_{6-2} + T0$
15	T375	T375	T615	$\Sigma T_6 + T615$	T135	$\Sigma T_{6-5} + T135$	T495	$\Sigma T_{6-4} + T495$	T255	$\Sigma T_{6-3} + T255$	T15	$\Sigma T_{6-2} + T15$
105	T465	T465	T705	$\Sigma T_6 + T705$	T225	$\Sigma T_{6-5} + T225$	T585	$\Sigma T_{6-4} + T585$	T345	$\Sigma T_{6-3} + T345$	T105	$\Sigma T_{6-2} + T105$
120	T480	T480	T720	$\Sigma T_6 + T720$	T240	$\Sigma T_{6-5} + T240$	T600	$\Sigma T_{6-4} + T600$	T360	$\Sigma T_{6-3} + T360$	T120	$\Sigma T_{6-2} + T120$
720	T360	T360	T600	$\Sigma T_6 + T600$	T120	$\Sigma T_{6-5} + T120$	T480	$\Sigma T_{6-4} + T480$	T240	$\Sigma T_{6-3} + T240$	T720	$\Sigma T_{6-2} + T720$

Навчальне видання

**Анісімов Віктор Федорович
Біліченко Віктор Вікторович
Музичук Василь Іванович
Митко Микола Васильович**

**АВТОМОБІЛЬНІ ДВИГУНИ
МЕТОДИКИ ПОБУДОВИ ТЕОРЕТИЧНИХ ДІАГРАМ ТЕПЛОВОГО,
ДИНАМІЧНОГО РОЗРАХУНКІВ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ
АВТОТРАКТОРНИХ ДВИГУНІВ**

Навчальний посібник

Рукопис оформив *М. Митко*

Видається в авторській редакції

Оригінал-макет виготовила *О. Кушнір*

Підписано до друку 28.06.2022 р.
Формат 29,7×42 ¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 10,38.
Наклад 20 пр. Зам. № 2022-058.

Видавець та виготовлювач
Вінницький національний технічний університет,
редакційно-видавничий відділ.
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Хмельницьке шосе, 95,
м. Вінниця, 21021.
Тел. (0432) 65-18-06.
press.vntu.edu.ua;
Email: irvc.vntu@gmail.com
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.