

Міністерство освіти і науки України  
Національний транспортний університет  
Автомеханічний факультет  
Кафедра «Двигуни і теплотехніка»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ  
З ДИСЦИПЛІНИ**

**«Математичне моделювання в дослідженнях ДВЗ»**

для здобувачів  
другого (магістерського) рівня  
денної форми здобуття вищої освіти  
*за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування»  
галузі знань 14 «Електрична інженерія»,  
освітньо-професійною програмою  
«Автомобільні двигуни»*

КИЇВ – 2024

Міністерство освіти і науки України  
Національний транспортний університет  
Автомеханічний факультет  
Кафедра «Двигуни і теплотехніка»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ**  
**З ДИСЦИПЛІНИ**

**«Математичне моделювання в дослідженнях ДВЗ»**

для здобувачів  
другого (магістерського) рівня  
денної форми здобуття вищої освіти  
за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування»  
галузі знань 14 «Електрична інженерія»,  
освітньо-професійною програмою  
«Автомобільні двигуни»

*Затверджено*  
*на засіданні Науково–методичної ради*  
*Національного транспортного університету*  
*протокол № \_\_7\_\_ від «17» жовтня \_\_2024 р.*

Проректор з навчальної роботи  
професор Віталій ХАРУТА

КИЇВ – 2024

Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Математичне моделювання в дослідженнях ДВЗ» для здобувачів другого (магістерського) рівня денної форми здобуття вищої освіти за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування» галузі знань 14 «Електрична інженерія», освітньо-професійною програмою «Автомобільні двигуни» / Укладач М.П.Цюман. – К.: НТУ, 2024. – 17 с.

Укладач: Микола ЦЮМАН, кандидат технічних наук, доцент

Рекомендовано Методичною комісією автомеханічного факультету

протокол № 2 від «20» вересня 2024 року

Голова Методичної комісії факультету \_\_\_\_\_ Дмитро ЯЩЕНКО

## ЗМІСТ

	Стор.
Загальні положення .....	4
1. Завдання на курсову роботу .....	4
2. Методичні вказівки до виконання курсової роботи .....	6
3. Контрольні питання до захисту курсової роботи .....	15
Список літератури .....	16
Додаток А .....	17

## **ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ**

Поршневі двигуни внутрішнього згоряння - основні джерела енергії на автомобільному транспорті. Одними з найважливіших проблем в галузі двигунобудування є підвищення надійності і ресурсу, паливної економічності і зниження кількості токсичних викидів двигунів внутрішнього згоряння.

Відповідно до навчального плану студенти спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування», що навчаються за освітньою програмою «Автомобільні двигуни» виконують курсову роботу з дисципліни «Математичне моделювання в дослідженнях ДВЗ», зміст і обсяг якої визначено даними методичними вказівками.

Мета роботи – закріпити і поглибити теоретичні знання, отримані під час вивчення курсу та оволодіти методами моделювання та дослідження показників автомобільних двигунів.

В курсовій роботі передбачено виконання дослідження показників двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) у експлуатаційних швидкісних та навантажувальних режимах роботи, оцінювання індикаторних показників і характеристик тепловиділення ДВЗ на основі експериментальних індикаторних діаграм, дослідження впливу параметрів процесу згоряння на індикаторні та ефективні показники ДВЗ, перевірка адекватності математичної моделі.

Всі розрахунки, пояснення та графічні залежності в курсовій роботі виконують на аркушах паперу формату А4. Розрахунки необхідно виконувати тільки в одиницях СІ. Зразок титульного аркуша записки наведено у додатку А.

### **1. ЗАВДАННЯ НА КУРСОВУ РОБОТУ**

Курсова робота передбачає розробку наступних розділів:

1. Підготовка вхідних даних для математичної моделі ДВЗ за методом об'ємного балансу.
2. Перевірка адекватності вхідних даних математичної моделі ДВЗ.
3. Дослідження показників двигуна у експлуатаційних швидкісних та навантажувальних режимах роботи.
4. Оцінювання індикаторних показників і характеристик тепловиділення ДВЗ на основі експериментальних індикаторних діаграм.
5. Дослідження впливу параметрів процесу згоряння на індикаторні та ефективні показники ДВЗ

Вихідні дані для виконання курсової роботи студенти вибирають на основі конкретної моделі двигуна, яка становить науково-практичний інтерес, є сучасною та має перспективи до подальшого використання на автомобільному транспорті.

Для обраної для дослідження моделі двигуна необхідно встановити наступні параметри з його технічної характеристики, приклад яких наведено у таблиці 1 та рис. 1.

Таблиця 1 – Основні технічні параметри двигуна VW BBY автомобіля Skoda Fabia

Найменування параметра	Значення
Вид палива	бензин
Число / розташування циліндрів двигуна	4 / рядне
Літраж двигуна, л	1,39
Діаметр циліндра / хід поршня, мм	76,5 / 75,6
Ступінь стискання	10,5
Потужність двигуна, кВт / частота обертання колінчастого вала, $\text{хв}^{-1}$	55 / 5000
Крутний момент, Н·м / частота обертання колінчастого вала, $\text{хв}^{-1}$	126 / 3800
Число впускних / випускних клапанів на циліндр	2 / 2
Система нейтралізації відпрацьованих газів	трикомпонентний каталітичний нейтралізатор

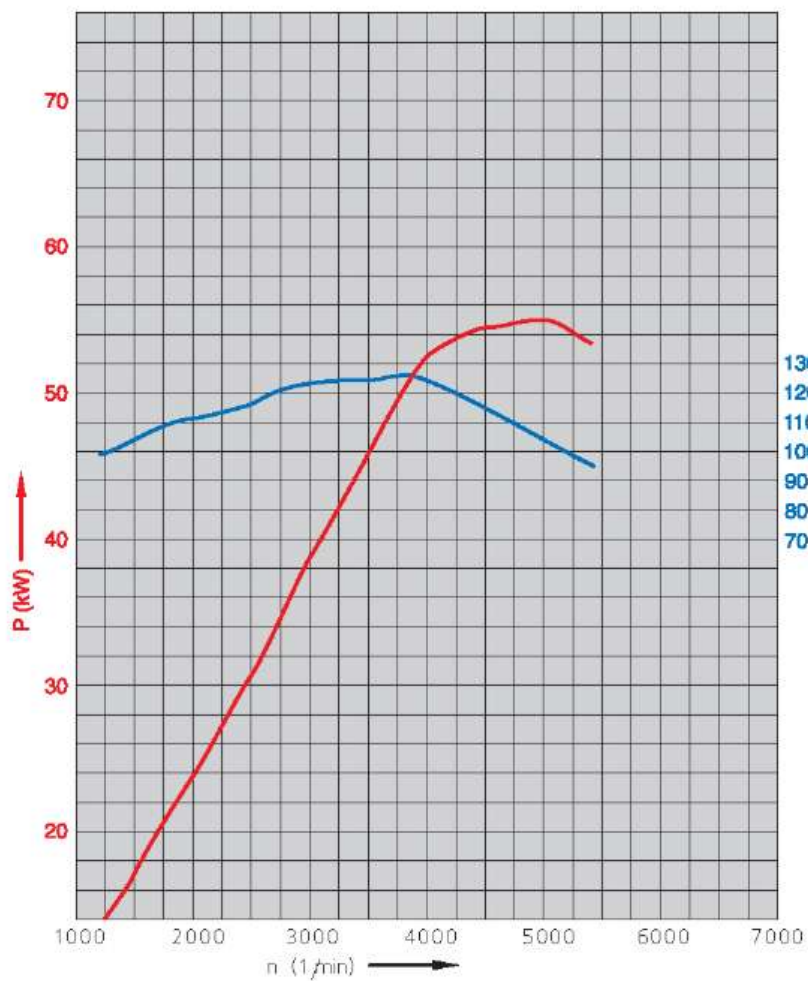


Рисунок 1 – Зовнішня швидкісна характеристика двигуна VW BBY

## **2. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ**

### **1. Підготовка вхідних даних для математичної моделі ДВЗ за методом об'ємного балансу**

Розрахунок показників двигуна під час математичного моделювання здійснюється з використанням програми розрахунку, складеної з використанням методу об'ємного балансу. Загальний вигляд головного вікна програми показано на рис. 2.

Програма містить основні елементи, які дозволяють здійснювати процес моделювання.

Рядок меню 1 містить кнопки «Індикаторна діаграма», «Зберегти дані», «Завантажити дані». Натискання кнопки «Індикаторна діаграма» виводить розгорнуту індикаторну діаграму робочого циклу. Натискання кнопки «Зберегти дані» здійснює зчитування даних з полів для введення вихідних даних 2 та зберігає їх у тимчасовий файл у теці з програмою, а натискання кнопки «Завантажити дані» здійснює завантаження збережених у тимчасовому файлі дані у поля для введення вихідних даних 2. Таким чином, можливо зберігати підготовлені для моделювання двигуна дані та використовувати їх у наступному сеансі роботи з програмою.

Блок введення вихідних даних 2 містить поля для введення вхідних даних для моделювання робочого циклу і показників двигуна. Для моделювання необхідно визначити наступні дані, зазначені у таблиці 2.

Блок виведення результатів розрахунку 3 містить поля для виведення змодельованих показників двигуна, які представлені в таблиці 3.

Блок налаштування виведення графічних даних 4 містить параметри крайніх вертикальних і горизонтальних меж графічного вікна для виведення розгорнутої індикаторної діаграми. Ці поля заповнюються автоматично після виконання розрахунку. Змінюючи ці значення можна міняти масштаб представлення індикаторної діаграми та детально досліджувати ті чи інші ділянки робочого циклу.

Кнопки управління програмою 5 дозволяють виконувати різні операції дослідження. Натискання кнопки «Розрахувати цикл» здійснює розрахунок на основі наявних у полях введення вхідних даних. Натискання кнопки «Порівняти графіки» дозволяє здійснювати порівняння індикаторних діаграм після розрахунку з оновленими вхідними параметрами. При цьому, вихідна діаграма виводиться суцільною лінією, а нова – штриховою. Натискання кнопки «Скинути графік» вимикає режим порівняння діаграм. Натискання кнопки «Завантажити експД» вивдить у графічному вікні експериментальну індикаторну діаграму, завантажуючи дані з попередньо підготовленого файлу, у порівнянні із попередньо розрахованою діаграмою. Натискання кнопки «Вийти з програми» завершує сеанс роботи з програмою.

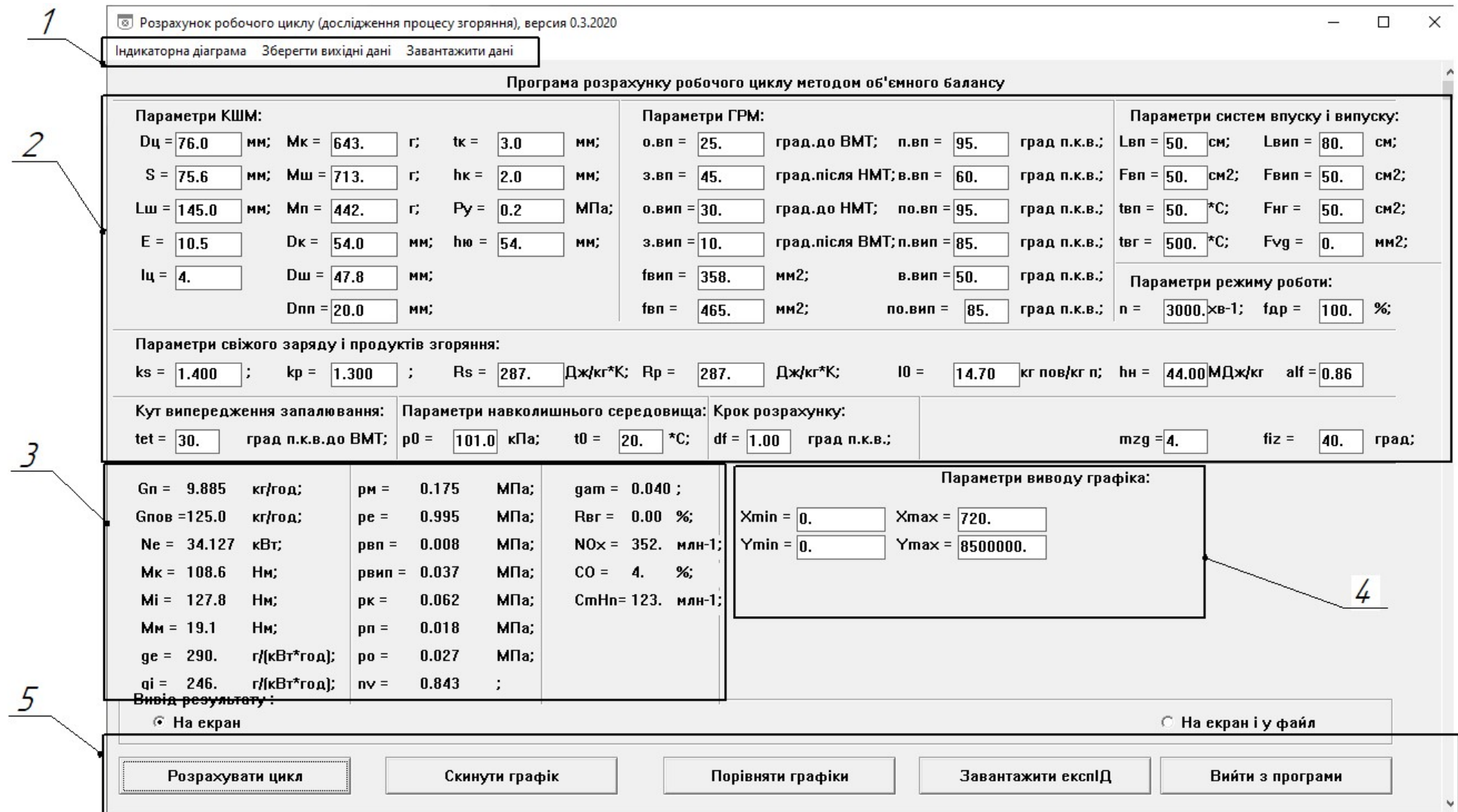


Рисунок 2 – Головне вікно програми розрахунку показників двигуна: 1 – рядок меню; 2 – блок введення вихідних даних; 3 – блок виведення результатів розрахунку; 4 – блок налаштування виведення графічних даних; 5 – кнопки управління програмою



Таблиця 2 – Вихідні дані для моделювання робочого процесу двигуна

Параметри	Позначення параметрів	Параметри	Позначення параметрів
Діаметр циліндра	D	Тривалість вистою випускного клапану	в.вип
Хід поршня	S	Тривалість посадки випускного клапану	по.вип
Довжина шатуна	L <sub>ш</sub>	Довжина впускного трубопроводу	L <sub>вп</sub>
Ступінь стиску	ε	Прохідний переріз впускного колектора	F <sub>вп</sub>
Число циліндрів	i <sub>ц</sub>	Температура у впускному трубопроводі	t <sub>вп</sub>
Маса кривошипу	M <sub>к</sub>	Температура у випускному колекторі	t <sub>вг</sub>
Маса шатуна	M <sub>ш</sub>	Довжина випускного трубопроводу	L <sub>вип</sub>
Маса поршня	M <sub>п</sub>	Прохідний переріз випускного колектора	F <sub>вип</sub>
Діаметр корінної шийки	D <sub>к</sub>	Прохідний переріз нейтралізатора	F <sub>нг</sub>
Діаметр шатунної шийки	D <sub>ш</sub>	Прохідний переріз клапана рециркуляції ВГ	F <sub>вг</sub>
Діаметр поршневого пальця	D <sub>пп</sub>	Частота обертання колінчастого вала двигуна	n
Ширина поршневого кільця	t <sub>к</sub>	Ступінь відкриття дросельної заслінки	f <sub>др</sub>
Висота поршневого кільця	h <sub>к</sub>	Показник адіабати свіжого заряду	k <sub>S</sub>
Пружність поршневого кільця	P <sub>y</sub>	Показник адіабати продуктів згоряння	k <sub>p</sub>
Висота юбки поршня	h <sub>ю</sub>	Газова стала повітря	R <sub>S</sub>
Кут відкриття впускного клапану	о.вп	Газова стала продуктів згоряння	R <sub>p</sub>
Кут закриття впускного клапану	з.вп	Теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кг палива	l <sub>0</sub>
Кут відкриття випускного клапану	о.вип	Нижча теплота згоряння палива	h <sub>н</sub>
Кут закриття випускного клапану	з.вип	Коефіцієнт надміру повітря	alf
Максимальна площа прохідного перерізу випускного клапану	f <sub>вип</sub>	Кут випередження запалювання/впорскування	tet
Максимальна площа прохідного перерізу впускного клапану	f <sub>вп</sub>	Атмосферний тиск	p <sub>0</sub>
Тривалість підйому впускного клапану	п.вп	Температура навколишнього середовища	T <sub>0</sub>
Тривалість вистою впускного клапану	в.вп	Крок розрахунку	df
Тривалість посадки впускного клапану	по.вп	Показник характеру згоряння	mzg
Тривалість підйому випускного клапану	п.вип	Тривалість згоряння	fiz

Таблиця 3 – Змодельовані показники двигуна

Параметри	Позначення параметрів
Годинна витрата палива	$G_{\text{п}}$
Годинна витрата повітря	$G_{\text{пов}}$
Ефективна потужність	$N_{\text{е}}$
Крутний момент	$M_{\text{к}}$
Індикаторний крутний момент	$M_{\text{і}}$
Момент механічних втрат	$M_{\text{м}}$
Питома ефективна витрата палива	$g_{\text{е}}$
Питома індикаторна витрата палива	$g_{\text{і}}$
Середній тиск механічних втрат	$p_{\text{м}}$
Середній ефективний тиск циклу	$p_{\text{е}}$
Середній тиск гідравлічних втрат на впускному клапані	$p_{\text{вп}}$
Середній тиск гідравлічних втрат на випускному клапані	$p_{\text{вип}}$
Середній тиск втрат на тертя на поршневих кільцях	$p_{\text{к}}$
Середній тиск втрат на тертя на юбці поршня	$p_{\text{п}}$
Середній тиск втрат на тертя на підшипниках колінчастого валу і шатуна	$p_{\text{о}}$
Коефіцієнт наповнення	$\eta_{\text{v}}$
Коефіцієнт залишкових газів	$g_{\text{ам}}$
Ступінь рециркуляції ВГ	$R_{\text{вг}}$
Концентрація $NO_x$	$NO_x$
Концентрація $CO$	$CO$
Концентрація $C_mH_n$	$C_mH_n$

Під час кожного сеансу роботи з програмою створюються або оновлюються файли в теці з програмою. Файл N.DAT окрім вказаних вище вихідних та змодельованих параметрів містить також поточні параметри стану робочого тіла в циліндрі, впускному та випускному трубопроводах, інші поточні параметри, що змінюються під час окремих процесів робочого циклу двигуна. Кожне натискання кнопки «Розрахувати цикл» додає новий блок розрахункових даних у файл N.DAT в кінці файлу. Для очищення цього файлу необхідно завершити сеанс роботи з програмою, зберігши попередньо вхідні дані, та запустити програму знову і завантажити збережені дані. Для перегляду файлу N.DAT можна використовувати стандартну програму «Блокнот».

Для виконання завдання даного розділу необхідно підготувати вихідні дані у відповідності до завдання на курсову роботу та виконати розрахунок. Зробити скріншот вікна програми з розрахованими параметрами та вставити його у курсову роботу.

## 2. Перевірка адекватності вхідних даних математичної моделі ДВЗ.

Перевірка адекватності вхідних даних математичної моделі здійснюється за результатами порівняння розрахункової та дійсної зовнішніх швидкісних характеристик двигуна.

Рекомендується, спочатку здійснити підбір окремих вхідних параметрів таким чином, щоб забезпечити досягнення номінальної потужності двигуна.

Найбільш доцільно з цією метою здійснювати добір прохідних перерізів впускного та випускного клапанів таким чином, щоб забезпечити необхідну розрахункову номінальну потужність. Після цього необхідно здійснити розрахунок показників двигуна для інших частот обертання, фіксуючі отримані показники двигуна (це можливо як шляхом копіювання відповідних даних з файлу N.DAT, так і шляхом записування результатів розрахунку з блоку виведення результатів розрахунку з головного вікна програми). Під час розрахунку необхідно враховувати, що такі параметри як температура у впускному трубопроводі, температура у випускному колекторі, коефіцієнт надміру повітря, кут випередження запалювання/впорскування, показник характеру згоряння та тривалість згоряння, залежать від частоти обертання.

За результатами проведених розрахунків необхідно побудувати порівняльні залежності розрахункових та дійсних показників двигуна за зовнішньою швидкісною характеристикою, визначити відносне відхилення та зробити висновок щодо адекватності математичного моделювання.

### **3. Дослідження показників двигуна у експлуатаційних швидкісних та навантажувальних режимах роботи.**

Дослідження впливу експлуатаційних швидкісних та навантажувальних режимів роботи виконується на трьох навантажувальних режимах в залежності від ступеня відкриття дросельної заслінки: повному відкритті, частковому відкритті, мінімальному відкритті.

Розрахунок показників при повному відкритті дросельної заслінки був виконаний під час перевірки адекватності математичного моделювання.

Для розрахунку показників при частковому відкритті дроселя необхідно встановити частоту обертання за максимальної потужності та зменшити ступінь відкриття дроселя до 50 %. Потім поступово зменшуючи частоту обертання виконати розрахунки для інших частот обертання з урахуванням зміни окремих вхідних параметрів як і при перевірці адекватності моделі у номінальному режимі. Під час розрахунків фіксувати отримані показники.

Для розрахунку показників при мінімальному відкритті дроселя необхідно знову встановити частоту обертання за максимальної потужності та зменшувати ступінь відкриття дроселя до тих пір, поки не буде досягнуто мінімально можливе додатне значення потужності двигуна. Провести для даного положення дросельної заслінки розрахунок параметрів двигуна для інших частот обертання з урахуванням зміни окремих вхідних параметрів, фіксуючі одержані показники двигуна.

Після виконання всіх розрахунків будують порівняльні залежності розрахованих показників двигуна, змінних вхідних параметрів при трьох значеннях ступеня відкриття дросельної заслінки від частоти обертання колінчастого валу.

Для порівняння індикаторних діаграм у різних швидкісних режимах роботи двигуна необхідно виконати розрахунок для номінальної потужності. Потім натиснути кнопку «Порівняти графіки», встановити частоту обертання, що відповідає максимальному крутному моменту, змінивши також інші

відповідні вхідні параметри, та знову розрахувати цикл. Потім натиснути кнопку меню «Індикаторна діаграма». На екран виведеться вікно, де індикаторна діаграма за номінальної потужності буде суцільною лінією, а діаграма за максимального крутного моменту – штриховою. За необхідності можна змінити межі виведення графіку та знову вивести індикаторні діаграми. Зробити сріншот отриманих діаграм. Закрити графічні вікна. Натиснути кнопку «Скинути графік» для очищення тимчасових файлів.

Для порівняння індикаторних діаграм у різних навантажувальних режимах роботи двигуна необхідно виконати розрахунок для максимального крутного моменту. Потім встановити мінімальний ступінь відкриття дроселя, визначений у цьому розділі раніше, змінити інші необхідні параметри та виконати порівняння індикаторних діаграм за методикою, описаною вище.

На основі проведених досліджень показників у різних експлуатаційних режимах роботи двигуна зробити висновки щодо впливу режиму роботи двигуна на його показники.

#### **4. Оцінювання індикаторних показників і характеристик тепловиділення ДВЗ на основі експериментальних індикаторних діаграм.**

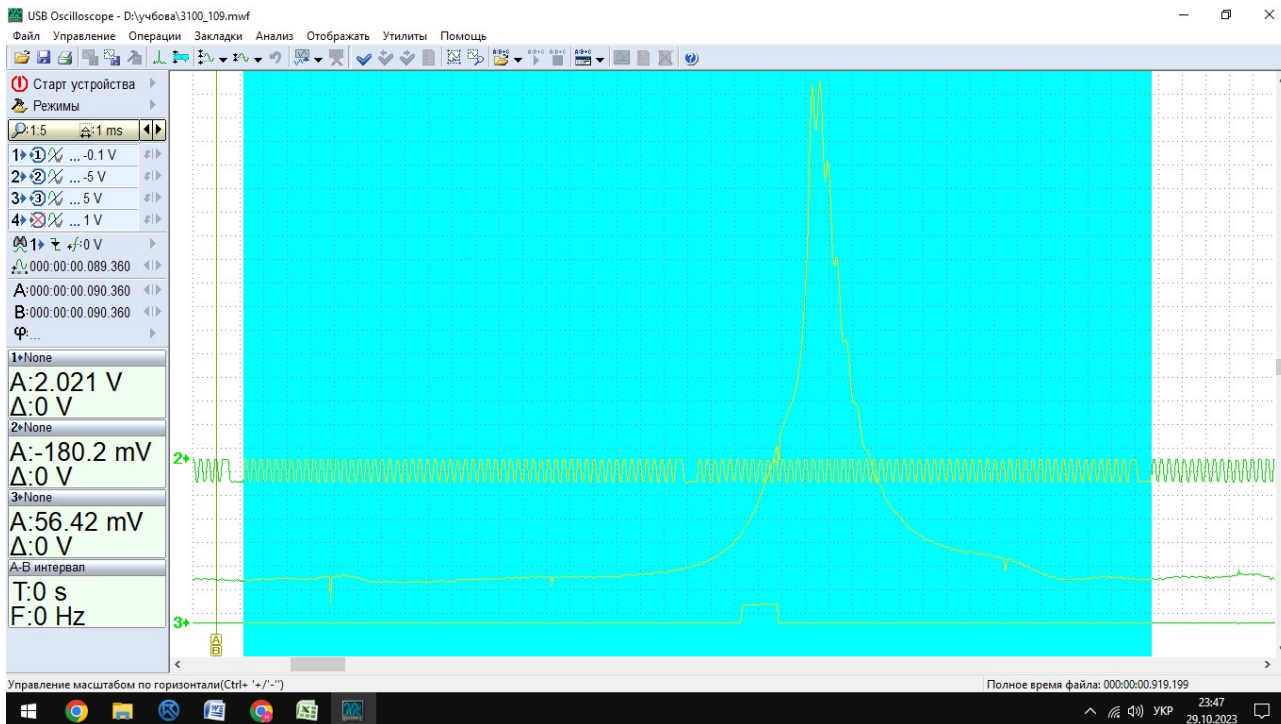
Перед виконанням оцінювання індикаторних показників і характеристик тепловиділення ДВЗ на основі експериментальних індикаторних діаграм необхідно отримати у викладача файл даних з виміряними під час експериментальних досліджень двигуна даними. Формат назви файлу має вигляд «частота обертання\_крутний момент.mwf», наприклад, 3100\_109.mwf, що означає крутний момент та частоту обертання за яких отримано дані експериментальні індикаторні діаграми.

Для роботи з файлом даних необхідна встановлена на комп'ютері програма USB Oscilloscope, версія 4.4.9.7, яка є вільно розповсюджуваним програмним забезпеченням (доступна за посиланням [https://injectorservice.com.ua/downloads\\_for\\_autoscope\\_2.php](https://injectorservice.com.ua/downloads_for_autoscope_2.php)).

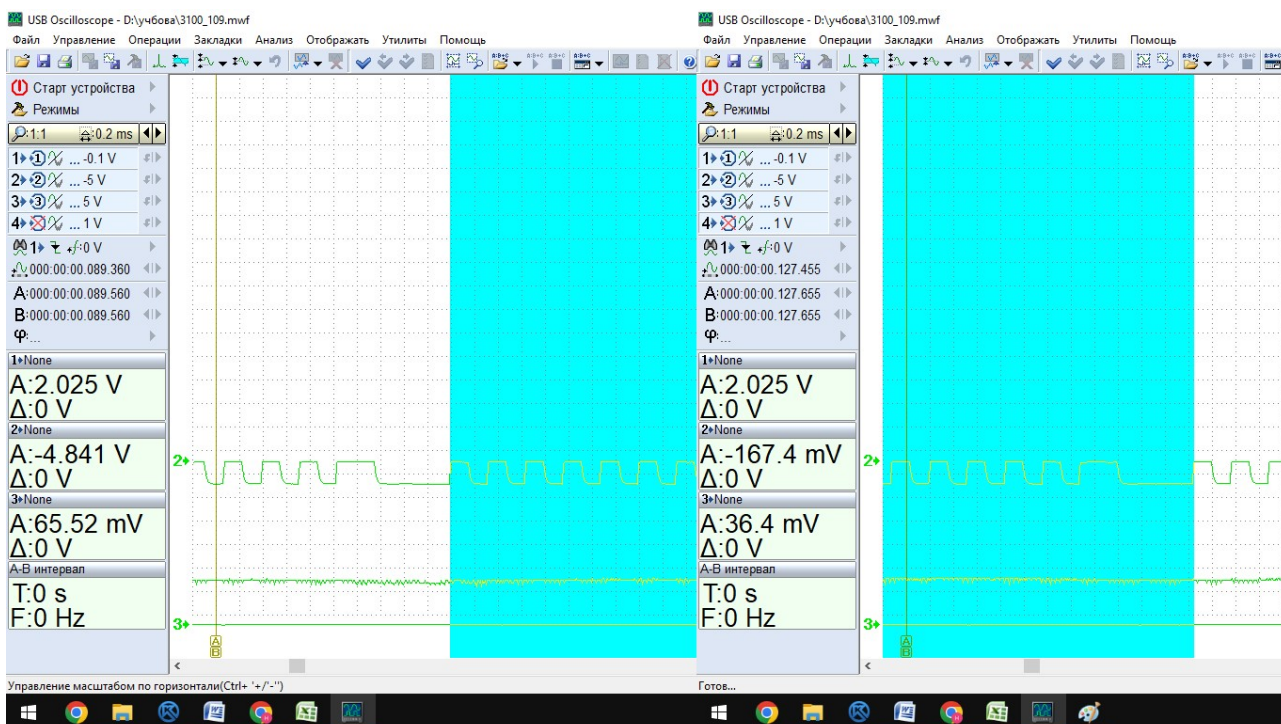
Відкрити отриманий файл даних та вибрати з послідовності циклів один робочий цикл, як показано на рис. 3. При цьому, необхідно орієнтуватись на дані каналу № 2 з датчика частоти обертання, починаючи виділяти фрагмент після синхронізуючого пропуску зубців в кінці процесу випуску за індикаторною діаграмою та завершуючи виділення через два оберти (див. рис. 3).

Завершивши виділення фрагменту, натиснути на верхній панелі інструментів кнопку «Завантажити скрипт» та вибрати попередньо підготовлений файл WaveExport.ajs. Потім натиснути кнопку «Виконати скрипт», вибрати канал 1 та натиснути «ОК». Результуючий файл Dump.dat буде створено на диску D. Відкрити файл Dump.dat у блокноті, виділити все та скопіювати. Відкрити файл «підготовка даних.xlsx» та вставити скопійовані дані у ячейку E10 (за необхідності виконати імпорт текстових даних, вказавши розділювач цілої та дробної частини крапку). У цьому ж файлі у ячейку B3 ввести кількість точок з експериментальної діаграми, яку вказано у вікні програми USB Oscilloscope, яке відкрилось після виконання скрипту. Далі

перемкнути вікно програми USB Oscilloscope у режим перегляду осцилограми (кнопка «Перегляд осцилограми» на панелі інструментів), перемістити діаграму по горизонталі на процес згоряння щоб було видно синхронізуючу мітку, як показано на рис. 4.



а



б

Рисунок 3 – Приклад вибору даних з файлу з експериментальною індикаторною діаграмою: а – загальний вигляд виділеного фрагменту у масштабі 1:5; б – початок і кінець виділеного фрагменту у масштабі 1:1

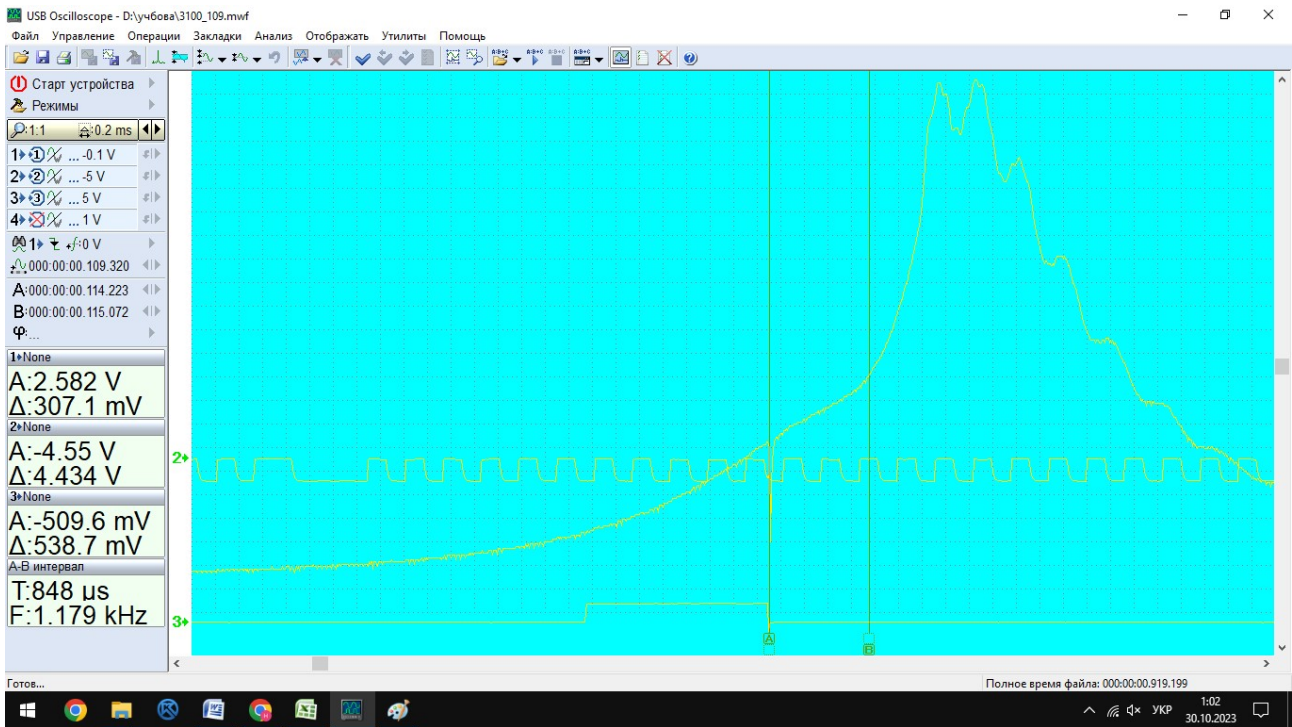


Рисунок 4 – Визначення моменту запалювання та ВМТ

Курсор А встановити у положення, що відповідає моменту запалювання (момент припинення подачі управляючої напруги, канал № 3), а курсор В – у положення, що відповідає ВМТ (14-й зубець після синхронізуючої мітки), як зображено на рис. 4. Значення моментів часу, що відповідають вибраним положенням, вказані на інформаційній панелі ліворуч. Ці значення у мікросекундах необхідно ввести у відповідні ячейки А1 та А2 файлу «підготовка даних.xlsx» (у розглянутому прикладі: момент запалювання 114223 мкс, момент ВМТ 115072 мкс). За введеними даними буде розраховано поточний кут випередження запалювання, тривалість робочого циклу, частоту обертання, крок повороту кривошипу між точками експериментальної діаграми.

Далі здійснюється обробка даних з файлу «підготовка даних.xlsx». Для цього використовується спеціальна програма в Mathcad (файл «обробка діаграм!!!.xmsd»). Для імпорту у програму обробки дані з файлу «підготовка даних.xlsx» необхідно копіювати та вставити у текстовий файл, зберігши його під ім'ям, наприклад, 1.txt. Після цього запустити файл «обробка діаграм!!!.xmsd», задати необхідні конструктивні параметри двигуна у розділі 1.1, а у розділі 1.2 – вказати посилання на тестовий файл з даними (1.txt).

У розділі 1.3 необхідно вказати показники роботи двигуна у режимі, який відповідає вказаному у імені файлу з вихідними експериментальними даними (3100\_109.mwf у цьому прикладі). Далі прокрутити текст програми до кінця файлу та виконати програму натиснувши кнопку «Розрахувати». Програма виконає обробку експериментальної індикаторної діаграми, а результат виведе безпосередньо у розділі 6 та у файлі expdata.txt, який треба помістити у папку з програмою для моделювання робочого циклу.

За результатами обробки експериментальної індикаторної діаграми необхідно навести та проаналізувати такі показники:

- індикаторна потужність двигуна;
- потужність насосних втрат;
- потужність сумарних механічних втрат;
- максимальний тиск в циліндрі;
- максимальна температура в циліндрі;
- середня швидкість наростання тиску під час згоряння;
- початок першої, другої та третьої фаз згоряння;
- тривалість згоряння;
- показник характеру згоряння.

Далі за результатами виконаної обробки експериментальної індикаторної діаграми необхідно здійснити моделювання показників двигуна за допомогою програми для моделювання.

Після виконання розрахунку робочого циклу двигуна із встановленими на основі обробки експериментальних даних параметрами процесу згоряння у режимі, який відповідає тому, де визначалась експериментальна діаграма, необхідно натиснути кнопку «Завантажити експІД» та відкрити вікно «Індикаторна діаграма». У вікні буде зображено порівняння розрахункової та експериментальної індикаторних діаграм, яке необхідно скопіювати та вставити у текст пояснювальної записки. За результатами порівняння діаграм необхідно зробити висновки щодо адекватності математичного моделювання робочого процесу двигуна.

## **5. Дослідження впливу параметрів процесу згоряння на індикаторні та ефективні показники ДВЗ**

Після порівняння експериментальної та розрахункової індикаторних діаграм у режимі роботи, визначеному у розділі 4, виконується дослідження впливу параметрів процесу згоряння на індикаторні та ефективні показники ДВЗ в цьому режимі роботи.

Параметри процесу згоряння, які визначають показники двигуна, це:

- момент початку згоряння;
- тривалість згоряння;
- характер згоряння.

На першому етапі необхідно визначити оптимальний кут випередження запалювання (такий, що забезпечує мінімальну питому ефективну витрату палива та максимальну потужність) при фіксованих значеннях параметрів тривалості та характеру згоряння. Після визначення оптимального кута випередження запалювання, необхідно виконати порівняння показників двигуна, а також індикаторних діаграм, діаграм зміни температури та характеристик тепловиділення при оптимальному, ранньому та пізньому запалюванні. Для цього треба зберегти параметри двигуна, завершити сеанс роботи з програмою, розпочати новий сеанс, завантажити збережені дані, потім по черзі встановити заздалегідь визначені три значення кута випередження виконуючи розрахунки з кожним значенням. У сформованому файлі N.DAT

будуть міститись три розрахованих робочих цикли, за якими після імпорту даних в MS Excel будують порівняльні графічні залежності (стовбець F – кут повороту кривошипу, P – тиск в циліндрі, T – температура, X – частка виділеної теплоти). Необхідно зробити висновок щодо впливу кута випередження запалювання на показники двигуна та параметри робочого тіла в циліндрі.

На другому етапі встановлюють визначене попередньо оптимальне значення кута випередження запалювання та здійснюють дослідження впливу тривалості згоряння на економічні та енергетичні показники двигуна. Встановивши найбільш доцільне з точки зору ефективності значення тривалості згоряння, виконують порівняння індикаторних та ефективних показників при доцільному, заниженому та завищеному значенні тривалості згоряння. Порівняння та висновки виконують аналогічно попередньому етапу дослідження впливу кута випередження запалювання.

На третьому етапі встановлюють попередньо встановлені оптимальні значення кута випередження запалювання та тривалості згоряння та досліджують вплив показника характеру згоряння на показники двигуна аналогічно попереднім двом етапам.

### 3. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДО ЗАХИСТУ КУРСОВОЇ РОБОТИ

1. Індикаторна діаграма бензинового двигуна з іскровим запалюванням. Основні особливості дійсного циклу.
2. Індикаторна діаграма дизеля. Основні особливості дійсного циклу.
3. Індикаторна діаграма газового двигуна з іскровим запалюванням. Основні особливості дійсного циклу.
4. Коефіцієнт надміру повітря  $\alpha$ .
5. Ступінь стискання  $\varepsilon$ .
6. Процес впуску. Коефіцієнт наповнення  $\eta_v$ . Перекриття клапанів.
7. Процес стискання в дійсному циклі.
8. Процес розширення в дійсному циклі.
9. Процес випуску. Момент відкриття випускного клапану.
10. Процес згоряння в бензинових двигунах. Розгорнута індикаторна діаграма.
11. Процес згоряння в дизелях. Розгорнута індикаторна діаграма. Жорсткість роботи дизеля.
12. Процес згоряння в газових двигунах. Розгорнута індикаторна діаграма.
13. Схеми кривошипно-шатунних механізмів.
14. Сили, що діють в кривошипно-шатунному механізмі. Сили, які діють на шатунну шийку.
15. Сили, які діють на корпус двигуна.
16. Сили інерції мас, що здійснюють зворотньо-поступальний і обертальний рухи.
17. Основні напрями подальшого розвитку ДВЗ.
18. Особливості конструкції основних систем і механізмів ДВЗ.



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Автомобільні двигуни Ф.І.Абрамчук, Ю.Ф.Гутаревич, К.Є. Долганов, І.І. Тимченко. Підручник. – К: Арістей, 2007. –476 с.
2. Двигуни внутрішнього згоряння : серія підручників у 6 т./ ред. А. П. Марченко, А. Ф. Шеховцов ; НТУ "ХПІ". - Х. : Прапор, 2004.
3. Двигуни внутрішнього згоряння. Теорія [Текст]: Підручник / В.Г. Дяченко; За ред. А.П.Марченка. - Харків: НТУ “ХПІ”, 2008. – 488 с.
4. Конструкція та динаміка двигунів: Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл./ А.Г. Говорун, А.О. Корпач. – К.: НТУ, 2007. – 124 с.
5. Дмитриченко М.Ф., Матейчик В.П., Гришук О.К., Цюман М.П. Методи системного аналізу властивостей автомобільної техніки: Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. – К.: НТУ, 2013. – 164 с.
6. Випробування двигунів внутрішнього згоряння: Навч. посібник, друге вид., перероблене та доповнене / Ю.Ф.Гутаревич, А.О.Корпач, А.Г.Говорун – К.: НТУ, 2013.– 246 с.
7. Дмитриченко М.Ф., Матейчик В.П., Волков В.П. та ін. Програмне забезпечення систем моніторингу транспорту / Під ред. Дмитриченка М.Ф. – К.: НТУ, 2016. – 208 с.
8. Методичні вказівки до виконання теплового і динамічного розрахунків поршневих двигунів внутрішнього згоряння на ПЕОМ /Укл. К.Є. Долганов, А.А.Лісовал, Л.П.Мержиєвська. – К.: КАДІ, 1994. – 24 с.
9. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Автомобільні двигуни» (Розробка конструкції двигуна) для студентів з напряму підготовки «Інженерна механіка» за фаховим спрямуванням «Автомобілі і автомобільне господарство» денної форми навчання / Укладачі А.Г.Говорун, О.Д. Климпуш, А.А. Лісовал, О.С. Добровольський, М.П. Сельський. – К.: НТУ, 2008. – 52 с.
10. Методичні вказівки до виконання теплового і динамічного розрахунків з дисципліни «Автомобільні двигуни» для студентів денної форми навчання за напрямом: 6.070106 – «Автомобільний транспорт» (фахове спрямування – «Автомобілі та автомобільне господарство») / Укладачі Ю.Ф.Гутаревич, А.М.Редзюк. – К. : НТУ, 2009. – 51 с.
- 11.Скоб Ю.О., Угрюмов М.Л., Халтурін В.О. Основи програмування сучасним Фортраном. Навчальний посібник до лабораторного практикуму. — Х. : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харк. авіац. ін-т», 2016. — 96 с.
- 12.Семенова І., Лавренюк М. Завдання з програмування на фортрані. Навчальний посібник. Київ: КНУ ім. Тараса Шевченка, 2012. – 84 с.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Кафедра «Двигуни і теплотехніка»

**РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до курсової роботи з дисципліни

**«Математичне моделювання в дослідженнях ДВЗ»**

Виконав: студент групи АДм-І-1  
Клименко В.В.

Керівник: доцент Цюман М.П.

2023

Міністерство освіти і науки України  
Національний транспортний університет  
Автомеханічний факультет  
Кафедра «Двигуни і теплотехніка»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ  
З ДИСЦИПЛІНИ**

**«Математичне моделювання в дослідженнях ДВЗ»**

для здобувачів  
другого (магістерського) рівня  
денної форми здобуття вищої освіти  
*за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування»  
галузі знань 14 «Електрична інженерія»,  
освітньо-професійною програмою  
«Автомобільні двигуни»*

КИЇВ – 2024

Міністерство освіти і науки України  
Національний транспортний університет  
Автомеханічний факультет  
Кафедра «Двигуни і теплотехніка»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ  
З ДИСЦИПЛІНИ**

**«Математичне моделювання в дослідженнях ДВЗ»**

для здобувачів  
другого (магістерського) рівня  
денної форми здобуття вищої освіти  
за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування»  
галузі знань 14 «Електрична інженерія»,  
освітньо-професійною програмою  
«Автомобільні двигуни»

*Затверджено  
на засіданні Науково–методичної ради  
Національного транспортного університету  
протокол № \_\_7\_\_ від «17» жовтня \_\_2024 р.*

Проректор з навчальної роботи  
професор Віталій ХАРУТА

КИЇВ – 2024

Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Математичне моделювання в дослідженнях ДВЗ» для здобувачів другого (магістерського) рівня денної форми здобуття вищої освіти за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування» галузі знань 14 «Електрична інженерія», освітньо-професійною програмою «Автомобільні двигуни» / Укладач М.П.Цюман. – К.: НТУ, 2024. – 17 с.

Укладач: Микола ЦЮМАН, кандидат технічних наук, доцент

Рекомендовано Методичною комісією автомеханічного факультету

протокол № 2 від «20» вересня 2024 року

Голова Методичної комісії факультету \_\_\_\_\_ Дмитро ЯЩЕНКО

© Микола ЦЮМАН, 2024 р.  
© Національний транспортний університет, 2024 р.

## ЗМІСТ

	Стор.
Загальні положення .....	4
1. Завдання на курсову роботу .....	4
2. Методичні вказівки до виконання курсової роботи .....	6
3. Контрольні питання до захисту курсової роботи .....	15
Список літератури .....	16
Додаток А .....	17

## ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Поршневі двигуни внутрішнього згоряння - основні джерела енергії на автомобільному транспорті. Одними з найважливіших проблем в галузі двигунобудування є підвищення надійності і ресурсу, паливної економічності і зниження кількості токсичних викидів двигунів внутрішнього згоряння.

Відповідно до навчального плану студенти спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування», що навчаються за освітньою програмою «Автомобільні двигуни» виконують курсову роботу з дисципліни «Математичне моделювання в дослідженнях ДВЗ», зміст і обсяг якої визначено даними методичними вказівками.

Мета роботи – закріпити і поглибити теоретичні знання, отримані під час вивчення курсу та оволодіти методами моделювання та дослідження показників автомобільних двигунів.

В курсовій роботі передбачено виконання дослідження показників двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) у експлуатаційних швидкісних та навантажувальних режимах роботи, оцінювання індикаторних показників і характеристик тепловиділення ДВЗ на основі експериментальних індикаторних діаграм, дослідження впливу параметрів процесу згоряння на індикаторні та ефективні показники ДВЗ, перевірка адекватності математичної моделі.

Всі розрахунки, пояснення та графічні залежності в курсовій роботі виконують на аркушах паперу формату А4. Розрахунки необхідно виконувати тільки в одиницях СІ. Зразок титульного аркуша записки наведено у додатку А.

### 1. ЗАВДАННЯ НА КУРСОВУ РОБОТУ

Курсова робота передбачає розробку наступних розділів:

1. Підготовка вхідних даних для математичної моделі ДВЗ за методом об'ємного балансу.
2. Перевірка адекватності вхідних даних математичної моделі ДВЗ.
3. Дослідження показників двигуна у експлуатаційних швидкісних та навантажувальних режимах роботи.
4. Оцінювання індикаторних показників і характеристик тепловиділення ДВЗ на основі експериментальних індикаторних діаграм.
5. Дослідження впливу параметрів процесу згоряння на індикаторні та ефективні показники ДВЗ

Вихідні дані для виконання курсової роботи студенти вибирають на основі конкретної моделі двигуна, яка становить науково-практичний інтерес, є сучасною та має перспективи до подальшого використання на автомобільному транспорті.

Для обраної для дослідження моделі двигуна необхідно встановити наступні параметри з його технічної характеристики, приклад яких наведено у таблиці 1 та рис. 1.

Таблиця 1 – Основні технічні параметри двигуна VW BBY автомобіля Skoda Fabia

Найменування параметра	Значення
Вид палива	бензин
Число / розташування циліндрів двигуна	4 / рядне
Літраж двигуна, л	1,39
Діаметр циліндра / хід поршня, мм	76,5 / 75,6
Ступінь стискання	10,5
Потужність двигуна, кВт / частота обертання колінчастого вала, $\text{хв}^{-1}$	55 / 5000
Крутний момент, Н·м / частота обертання колінчастого вала, $\text{хв}^{-1}$	126 / 3800
Число впускних / випускних клапанів на циліндр	2 / 2
Система нейтралізації відпрацьованих газів	трикомпонентний каталітичний нейтралізатор

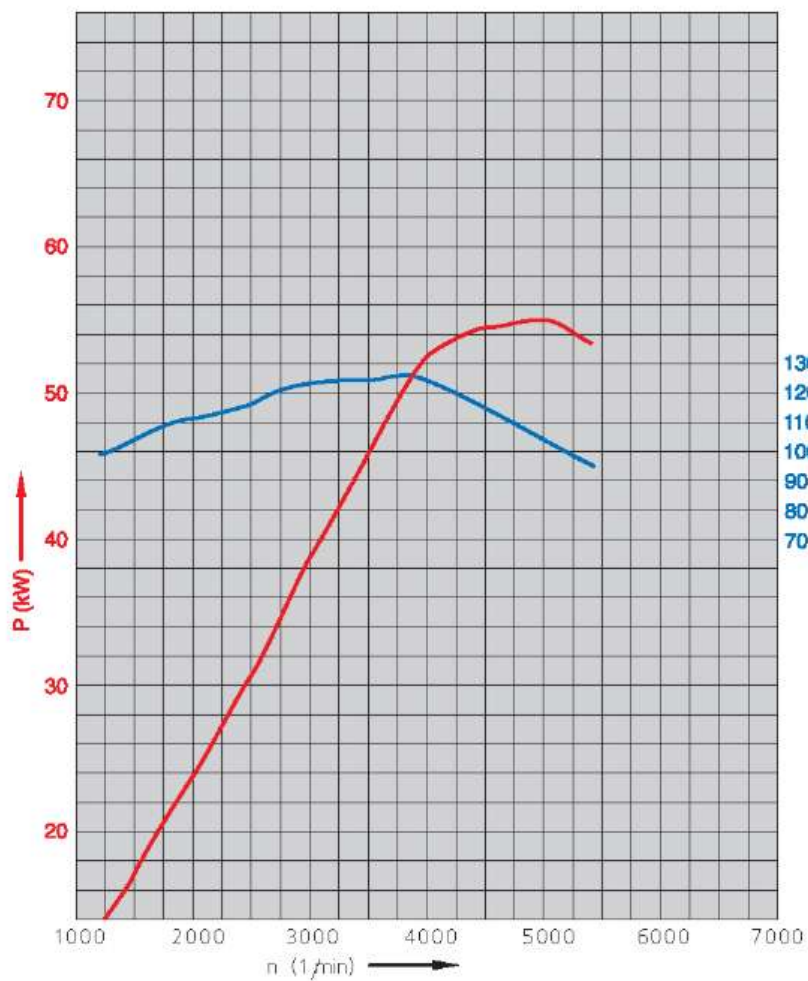


Рисунок 1 – Зовнішня швидкісна характеристика двигуна VW BBY



## **2. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ**

### **1. Підготовка вхідних даних для математичної моделі ДВЗ за методом об'ємного балансу**

Розрахунок показників двигуна під час математичного моделювання здійснюється з використанням програми розрахунку, складеної з використанням методу об'ємного балансу. Загальний вигляд головного вікна програми показано на рис. 2.

Програма містить основні елементи, які дозволяють здійснювати процес моделювання.

Рядок меню 1 містить кнопки «Індикаторна діаграма», «Зберегти дані», «Завантажити дані». Натискання кнопки «Індикаторна діаграма» виводить розгорнуту індикаторну діаграму робочого циклу. Натискання кнопки «Зберегти дані» здійснює зчитування даних з полів для введення вихідних даних 2 та зберігає їх у тимчасовий файл у теці з програмою, а натискання кнопки «Завантажити дані» здійснює завантаження збережених у тимчасовому файлі дані у поля для введення вихідних даних 2. Таким чином, можливо зберігати підготовлені для моделювання двигуна дані та використовувати їх у наступному сеансі роботи з програмою.

Блок введення вихідних даних 2 містить поля для введення вхідних даних для моделювання робочого циклу і показників двигуна. Для моделювання необхідно визначити наступні дані, зазначені у таблиці 2.

Блок виведення результатів розрахунку 3 містить поля для виведення змодельованих показників двигуна, які представлені в таблиці 3.

Блок налаштування виведення графічних даних 4 містить параметри крайніх вертикальних і горизонтальних меж графічного вікна для виведення розгорнутої індикаторної діаграми. Ці поля заповнюються автоматично після виконання розрахунку. Змінюючи ці значення можна міняти масштаб представлення індикаторної діаграми та детально досліджувати ті чи інші ділянки робочого циклу.

Кнопки управління програмою 5 дозволяють виконувати різні операції дослідження. Натискання кнопки «Розрахувати цикл» здійснює розрахунок на основі наявних у полях введення вхідних даних. Натискання кнопки «Порівняти графіки» дозволяє здійснювати порівняння індикаторних діаграм після розрахунку з оновленими вхідними параметрами. При цьому, вихідна діаграма виводиться суцільною лінією, а нова – штриховою. Натискання кнопки «Скинути графік» вимикає режим порівняння діаграм. Натискання кнопки «Завантажити експД» вивдить у графічному вікні експериментальну індикаторну діаграму, завантажуючи дані з попередньо підготовленого файлу, у порівнянні із попередньо розрахованою діаграмою. Натискання кнопки «Вийти з програми» завершує сеанс роботи з програмою.

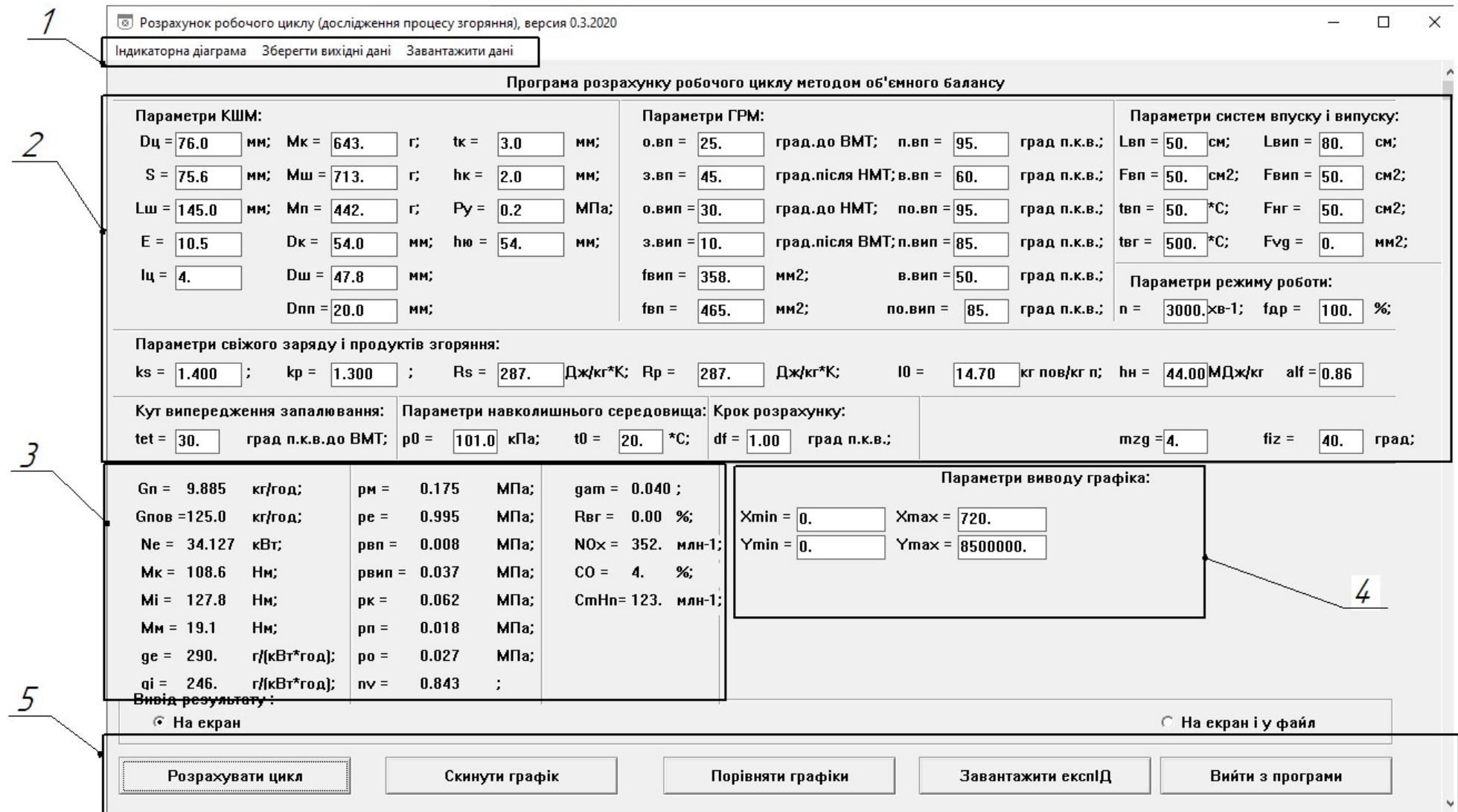


Рисунок 2 – Головне вікно програми розрахунку показників двигуна: 1 – рядок меню; 2 – блок введення вихідних даних; 3 – блок виведення результатів розрахунку; 4 – блок налаштування виведення графічних даних; 5 – кнопки управління програмою

Таблиця 2 – Вихідні дані для моделювання робочого процесу двигуна

Параметри	Позначення параметрів	Параметри	Позначення параметрів
Діаметр циліндра	D	Тривалість вистою випускного клапану	в.вип
Хід поршня	S	Тривалість посадки випускного клапану	по.вип
Довжина шатуна	L <sub>ш</sub>	Довжина впускного трубопроводу	L <sub>вп</sub>
Ступінь стиску	ε	Прохідний переріз впускного колектора	F <sub>вп</sub>
Число циліндрів	i <sub>ц</sub>	Температура у впускному трубопроводі	t <sub>вп</sub>
Маса кривошипу	M <sub>к</sub>	Температура у випускному колекторі	t <sub>вг</sub>
Маса шатуна	M <sub>ш</sub>	Довжина випускного трубопроводу	L <sub>вип</sub>
Маса поршня	M <sub>п</sub>	Прохідний переріз випускного колектора	F <sub>вип</sub>
Діаметр корінної шийки	D <sub>к</sub>	Прохідний переріз нейтралізатора	F <sub>нг</sub>
Діаметр шатунної шийки	D <sub>ш</sub>	Прохідний переріз клапана рециркуляції ВГ	F <sub>вг</sub>
Діаметр поршневого пальця	D <sub>пп</sub>	Частота обертання колінчастого вала двигуна	n
Ширина поршневого кільця	t <sub>к</sub>	Ступінь відкриття дросельної заслінки	f <sub>др</sub>
Висота поршневого кільця	h <sub>к</sub>	Показник адіабати свіжого заряду	k <sub>S</sub>
Пружність поршневого кільця	P <sub>y</sub>	Показник адіабати продуктів згоряння	k <sub>p</sub>
Висота юбки поршня	h <sub>ю</sub>	Газова стала повітря	R <sub>S</sub>
Кут відкриття впускного клапану	о.вп	Газова стала продуктів згоряння	R <sub>p</sub>
Кут закриття впускного клапану	з.вп	Теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кг палива	l <sub>0</sub>
Кут відкриття випускного клапану	о.вип	Нижча теплота згоряння палива	h <sub>н</sub>
Кут закриття випускного клапану	з.вип	Коефіцієнт надміру повітря	alf
Максимальна площа прохідного перерізу випускного клапану	f <sub>вип</sub>	Кут випередження запалювання/впорскування	tet
Максимальна площа прохідного перерізу впускного клапану	f <sub>вп</sub>	Атмосферний тиск	p <sub>0</sub>
Тривалість підйому впускного клапану	п.вп	Температура навколишнього середовища	T <sub>0</sub>
Тривалість вистою впускного клапану	в.вп	Крок розрахунку	df
Тривалість посадки впускного клапану	по.вп	Показник характеру згоряння	mzg
Тривалість підйому випускного клапану	п.вип	Тривалість згоряння	fiz

Таблиця 3 – Змодельовані показники двигуна

Параметри	Позначення параметрів
Годинна витрата палива	$G_{\text{п}}$
Годинна витрата повітря	$G_{\text{пов}}$
Ефективна потужність	$N_{\text{е}}$
Крутний момент	$M_{\text{к}}$
Індикаторний крутний момент	$M_{\text{і}}$
Момент механічних втрат	$M_{\text{м}}$
Питома ефективна витрата палива	$g_{\text{е}}$
Питома індикаторна витрата палива	$g_{\text{і}}$
Середній тиск механічних втрат	$p_{\text{м}}$
Середній ефективний тиск циклу	$p_{\text{е}}$
Середній тиск гідравлічних втрат на впускному клапані	$p_{\text{вп}}$
Середній тиск гідравлічних втрат на випускному клапані	$p_{\text{вип}}$
Середній тиск втрат на тертя на поршневих кільцях	$p_{\text{к}}$
Середній тиск втрат на тертя на юбці поршня	$p_{\text{п}}$
Середній тиск втрат на тертя на підшипниках колінчастого валу і шатуна	$p_{\text{о}}$
Коефіцієнт наповнення	$\eta_{\text{v}}$
Коефіцієнт залишкових газів	$g_{\text{ам}}$
Ступінь рециркуляції ВГ	$R_{\text{вг}}$
Концентрація $NO_x$	$NO_x$
Концентрація $CO$	$CO$
Концентрація $C_mH_n$	$C_mH_n$

Під час кожного сеансу роботи з програмою створюються або оновлюються файли в теці з програмою. Файл N.DAT окрім вказаних вище вихідних та змодельованих параметрів містить також поточні параметри стану робочого тіла в циліндрі, впускному та випускному трубопроводах, інші поточні параметри, що змінюються під час окремих процесів робочого циклу двигуна. Кожне натискання кнопки «Розрахувати цикл» додає новий блок розрахункових даних у файл N.DAT в кінці файлу. Для очищення цього файлу необхідно завершити сеанс роботи з програмою, зберігши попередньо вхідні дані, та запуснути програму знову і завантажити збережені дані. Для перегляду файлу N.DAT можна використовувати стандартну програму «Блокнот».

Для виконання завдання даного розділу необхідно підготувати вихідні дані у відповідності до завдання на курсову роботу та виконати розрахунок. Зробити скріншот вікна програми з розрахованими параметрами та вставити його у курсову роботу.

## 2. Перевірка адекватності вхідних даних математичної моделі ДВЗ.

Перевірка адекватності вхідних даних математичної моделі здійснюється за результатами порівняння розрахункової та дійсної зовнішніх швидкісних характеристик двигуна.

Рекомендується, спочатку здійснити підбір окремих вхідних параметрів таким чином, щоб забезпечити досягнення номінальної потужності двигуна.

Найбільш доцільно з цією метою здійснювати добір прохідних перерізів впускного та випускного клапанів таким чином, щоб забезпечити необхідну розрахункову номінальну потужність. Після цього необхідно здійснити розрахунок показників двигуна для інших частот обертання, фіксуючі отримані показники двигуна (це можливо як шляхом копіювання відповідних даних з файлу N.DAT, так і шляхом записування результатів розрахунку з блоку виведення результатів розрахунку з головного вікна програми). Під час розрахунку необхідно враховувати, що такі параметри як температура у впускному трубопроводі, температура у випускному колекторі, коефіцієнт надміру повітря, кут випередження запалювання/впорскування, показник характеру згоряння та тривалість згоряння, залежать від частоти обертання.

За результатами проведених розрахунків необхідно побудувати порівняльні залежності розрахункових та дійсних показників двигуна за зовнішньою швидкісною характеристикою, визначити відносне відхилення та зробити висновок щодо адекватності математичного моделювання.

### **3. Дослідження показників двигуна у експлуатаційних швидкісних та навантажувальних режимах роботи.**

Дослідження впливу експлуатаційних швидкісних та навантажувальних режимів роботи виконується на трьох навантажувальних режимах в залежності від ступеня відкриття дросельної заслінки: повному відкритті, частковому відкритті, мінімальному відкритті.

Розрахунок показників при повному відкритті дросельної заслінки був виконаний під час перевірки адекватності математичного моделювання.

Для розрахунку показників при частковому відкритті дроселя необхідно встановити частоту обертання за максимальної потужності та зменшити ступінь відкриття дроселя до 50 %. Потім поступово зменшуючи частоту обертання виконати розрахунки для інших частот обертання з урахуванням зміни окремих вхідних параметрів як і при перевірці адекватності моделі у номінальному режимі. Під час розрахунків фіксувати отримані показники.

Для розрахунку показників при мінімальному відкритті дроселя необхідно знову встановити частоту обертання за максимальної потужності та зменшувати ступінь відкриття дроселя до тих пір, поки не буде досягнуто мінімально можливе додатне значення потужності двигуна. Провести для даного положення дросельної заслінки розрахунок параметрів двигуна для інших частот обертання з урахуванням зміни окремих вхідних параметрів, фіксуючі одержані показники двигуна.

Після виконання всіх розрахунків будують порівняльні залежності розрахованих показників двигуна, змінних вхідних параметрів при трьох значеннях ступеня відкриття дросельної заслінки від частоти обертання колінчастого валу.

Для порівняння індикаторних діаграм у різних швидкісних режимах роботи двигуна необхідно виконати розрахунок для номінальної потужності. Потім натиснути кнопку «Порівняти графіки», встановити частоту обертання, що відповідає максимальному крутному моменту, змінивши також інші

відповідні вхідні параметри, та знову розрахувати цикл. Потім натиснути кнопку меню «Індикаторна діаграма». На екран виведеться вікно, де індикаторна діаграма за номінальної потужності буде суцільною лінією, а діаграма за максимального крутного моменту – штриховою. За необхідності можна змінити межі виведення графіку та знову вивести індикаторні діаграми. Зробити сріншот отриманих діаграм. Закрити графічні вікна. Натиснути кнопку «Скинути графік» для очищення тимчасових файлів.

Для порівняння індикаторних діаграм у різних навантажувальних режимах роботи двигуна необхідно виконати розрахунок для максимального крутного моменту. Потім встановити мінімальний ступінь відкриття дроселя, визначений у цьому розділі раніше, змінити інші необхідні параметри та виконати порівняння індикаторних діаграм за методикою, описаною вище.

На основі проведених досліджень показників у різних експлуатаційних режимах роботи двигуна зробити висновки щодо впливу режиму роботи двигуна на його показники.

#### **4. Оцінювання індикаторних показників і характеристик тепловиділення ДВЗ на основі експериментальних індикаторних діаграм.**

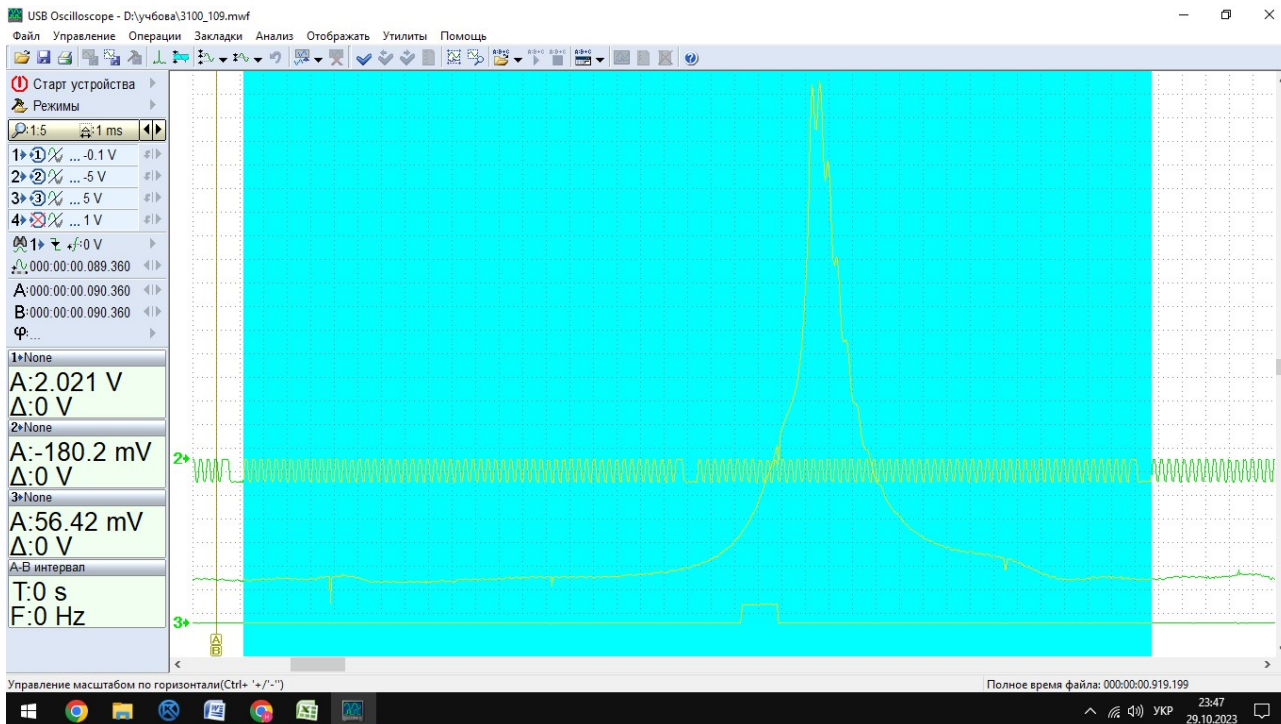
Перед виконанням оцінювання індикаторних показників і характеристик тепловиділення ДВЗ на основі експериментальних індикаторних діаграм необхідно отримати у викладача файл даних з виміряними під час експериментальних досліджень двигуна даними. Формат назви файлу має вигляд «частота обертання\_крутний момент.mwf», наприклад, 3100\_109.mwf, що означає крутний момент та частоту обертання за яких отримано дані експериментальні індикаторні діаграми.

Для роботи з файлом даних необхідна встановлена на комп'ютері програма USB Oscilloscope, версія 4.4.9.7, яка є вільно розповсюджуваним програмним забезпеченням (доступна за посиланням [https://injectorservice.com.ua/downloads\\_for\\_autoscope\\_2.php](https://injectorservice.com.ua/downloads_for_autoscope_2.php)).

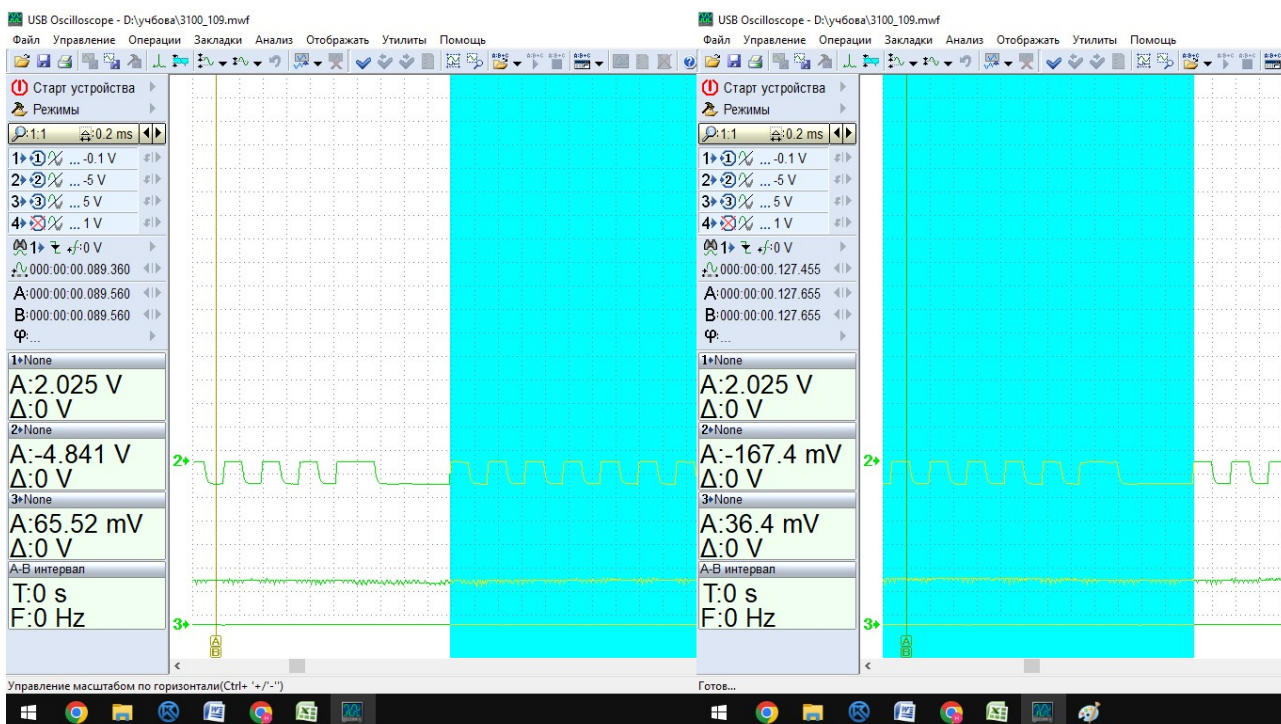
Відкрити отриманий файл даних та вибрати з послідовності циклів один робочий цикл, як показано на рис. 3. При цьому, необхідно орієнтуватись на дані каналу № 2 з датчика частоти обертання, починаючи виділяти фрагмент після синхронізуючого пропуску зубців в кінці процесу випуску за індикаторною діаграмою та завершуючи виділення через два оберти (див. рис. 3).

Завершивши виділення фрагменту, натиснути на верхній панелі інструментів кнопку «Завантажити скрипт» та вибрати попередньо підготовлений файл WaveExport.ajs. Потім натиснути кнопку «Виконати скрипт», вибрати канал 1 та натиснути «ОК». Результуючий файл Dump.dat буде створено на диску D. Відкрити файл Dump.dat у блокноті, виділити все та скопіювати. Відкрити файл «підготовка даних.xlsx» та вставити скопійовані дані у ячейку E10 (за необхідності виконати імпорт текстових даних, вказавши розділювач цілої та дробної частини крапку). У цьому ж файлі у ячейку B3 ввести кількість точок з експериментальної діаграми, яку вказано у вікні програми USB Oscilloscope, яке відкрилось після виконання скрипту. Далі

перемкнути вікно програми USB Oscilloscope у режим перегляду осцилограми (кнопка «Перегляд осцилограми» на панелі інструментів), перемістити діаграму по горизонталі на процес згоряння щоб було видно синхронізуючу мітку, як показано на рис. 4.



а



б

Рисунок 3 – Приклад вибору даних з файлу з експериментальною індикаторною діаграмою: а – загальний вигляд виділеного фрагменту у масштабі 1:5; б – початок і кінець виділеного фрагменту у масштабі 1:1

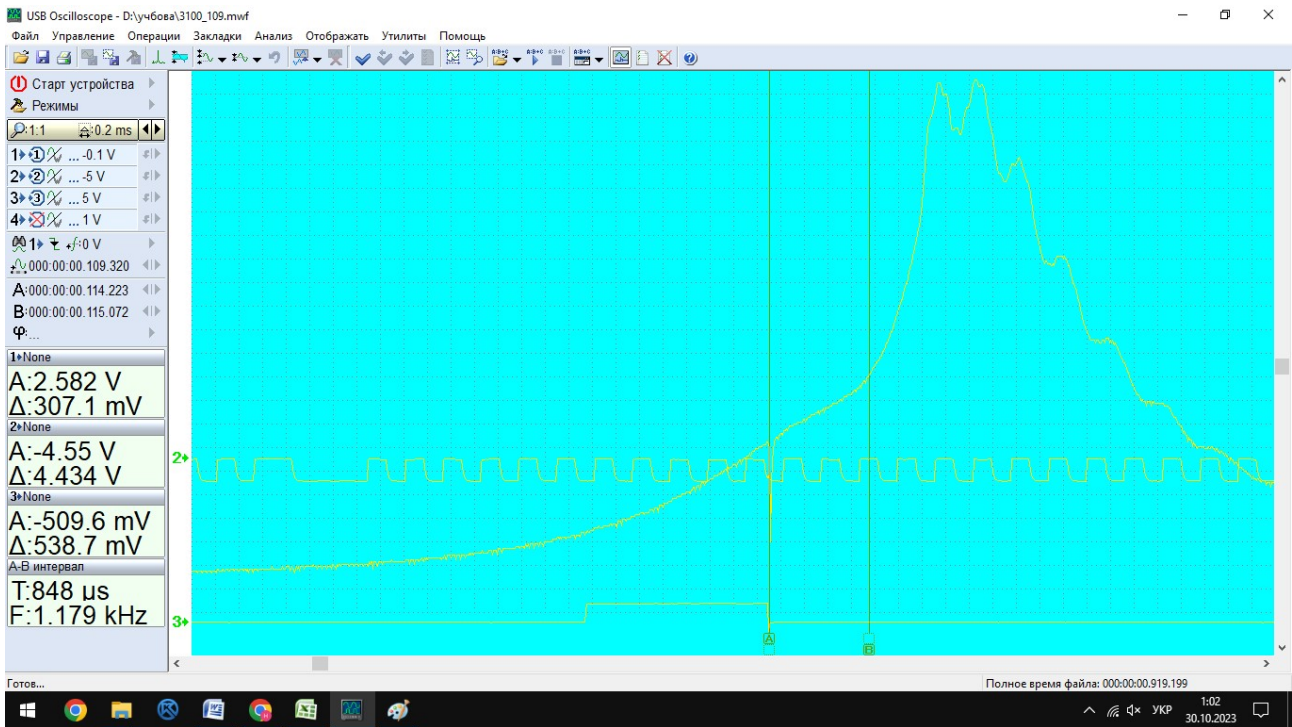


Рисунок 4 – Визначення моменту запалювання та ВМТ

Курсор А встановити у положення, що відповідає моменту запалювання (момент припинення подачі управляючої напруги, канал № 3), а курсор В – у положення, що відповідає ВМТ (14-й зубець після синхронізуючої мітки), як зображено на рис. 4. Значення моментів часу, що відповідають вибраним положенням, вказані на інформаційній панелі ліворуч. Ці значення у мікросекундах необхідно ввести у відповідні ячейки А1 та А2 файлу «підготовка даних.xlsx» (у розглянутому прикладі: момент запалювання 114223 мкс, момент ВМТ 115072 мкс). За введеними даними буде розраховано поточний кут випередження запалювання, тривалість робочого циклу, частоту обертання, крок повороту кривошипу між точками експериментальної діаграми.

Далі здійснюється обробка даних з файлу «підготовка даних.xlsx». Для цього використовується спеціальна програма в Mathcad (файл «обробка діаграм!!!.xmc»). Для імпорту у програму обробки дані з файлу «підготовка даних.xlsx» необхідно копіювати та вставити у текстовий файл, зберігши його під ім'ям, наприклад, 1.txt. Після цього запустити файл «обробка діаграм!!!.xmc», задати необхідні конструктивні параметри двигуна у розділі 1.1, а у розділі 1.2 – вказати посилання на тестовий файл з даними (1.txt).

У розділі 1.3 необхідно вказати показники роботи двигуна у режимі, який відповідає вказаному у імені файлу з вихідними експериментальними даними (3100\_109.mwf у цьому прикладі). Далі прокрутити текст програми до кінця файлу та виконати програму натиснувши кнопку «Розрахувати». Програма виконає обробку експериментальної індикаторної діаграми, а результат виведе безпосередньо у розділі 6 та у файлі expdata.txt, який треба помістити у папку з програмою для моделювання робочого циклу.



За результатами обробки експериментальної індикаторної діаграми необхідно навести та проаналізувати такі показники:

- індикаторна потужність двигуна;
- потужність насосних втрат;
- потужність сумарних механічних втрат;
- максимальний тиск в циліндрі;
- максимальна температура в циліндрі;
- середня швидкість наростання тиску під час згоряння;
- початок першої, другої та третьої фаз згоряння;
- тривалість згоряння;
- показник характеру згоряння.

Далі за результатами виконаної обробки експериментальної індикаторної діаграми необхідно здійснити моделювання показників двигуна за допомогою програми для моделювання.

Після виконання розрахунку робочого циклу двигуна із встановленими на основі обробки експериментальних даних параметрами процесу згоряння у режимі, який відповідає тому, де визначалась експериментальна діаграма, необхідно натиснути кнопку «Завантажити експІД» та відкрити вікно «Індикаторна діаграма». У вікні буде зображено порівняння розрахункової та експериментальної індикаторних діаграм, яке необхідно скопіювати та вставити у текст пояснювальної записки. За результатами порівняння діаграм необхідно зробити висновки щодо адекватності математичного моделювання робочого процесу двигуна.

## **5. Дослідження впливу параметрів процесу згоряння на індикаторні та ефективні показники ДВЗ**

Після порівняння експериментальної та розрахункової індикаторних діаграм у режимі роботи, визначеному у розділі 4, виконується дослідження впливу параметрів процесу згоряння на індикаторні та ефективні показники ДВЗ в цьому режимі роботи.

Параметри процесу згоряння, які визначають показники двигуна, це:

- момент початку згоряння;
- тривалість згоряння;
- характер згоряння.

На першому етапі необхідно визначити оптимальний кут випередження запалювання (такий, що забезпечує мінімальну питому ефективну витрату палива та максимальну потужність) при фіксованих значеннях параметрів тривалості та характеру згоряння. Після визначення оптимального кута випередження запалювання, необхідно виконати порівняння показників двигуна, а також індикаторних діаграм, діаграм зміни температури та характеристик тепловиділення при оптимальному, ранньому та пізньому запалюванні. Для цього треба зберегти параметри двигуна, завершити сеанс роботи з програмою, розпочати новий сеанс, завантажити збережені дані, потім по черзі встановити заздалегідь визначені три значення кута випередження виконуючи розрахунки з кожним значенням. У сформованому файлі N.DAT

будуть міститись три розрахованих робочих цикли, за якими після імпорту даних в MS Excel будують порівняльні графічні залежності (стовбець F – кут повороту кривошипу, P – тиск в циліндрі, T – температура, X – частка виділеної теплоти). Необхідно зробити висновок щодо впливу кута випередження запалювання на показники двигуна та параметри робочого тіла в циліндрі.

На другому етапі встановлюють визначене попередньо оптимальне значення кута випередження запалювання та здійснюють дослідження впливу тривалості згоряння на економічні та енергетичні показники двигуна. Встановивши найбільш доцільне з точки зору ефективності значення тривалості згоряння, виконують порівняння індикаторних та ефективних показників при доцільному, заниженому та завищеному значенні тривалості згоряння. Порівняння та висновки виконують аналогічно попередньому етапу дослідження впливу кута випередження запалювання.

На третьому етапі встановлюють попередньо встановлені оптимальні значення кута випередження запалювання та тривалості згоряння та досліджують вплив показника характеру згоряння на показники двигуна аналогічно попереднім двом етапам.

### 3. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДО ЗАХИСТУ КУРСОВОЇ РОБОТИ

1. Індикаторна діаграма бензинового двигуна з іскровим запалюванням. Основні особливості дійсного циклу.
2. Індикаторна діаграма дизеля. Основні особливості дійсного циклу.
3. Індикаторна діаграма газового двигуна з іскровим запалюванням. Основні особливості дійсного циклу.
4. Коефіцієнт надміру повітря  $\alpha$ .
5. Ступінь стискання  $\varepsilon$ .
6. Процес впуску. Коефіцієнт наповнення  $\eta_v$ . Перекриття клапанів.
7. Процес стискання в дійсному циклі.
8. Процес розширення в дійсному циклі.
9. Процес випуску. Момент відкриття випускного клапану.
10. Процес згоряння в бензинових двигунах. Розгорнута індикаторна діаграма.
11. Процес згоряння в дизелях. Розгорнута індикаторна діаграма. Жорсткість роботи дизеля.
12. Процес згоряння в газових двигунах. Розгорнута індикаторна діаграма.
13. Схеми кривошипно-шатунних механізмів.
14. Сили, що діють в кривошипно-шатунному механізмі. Сили, які діють на шатунну шийку.
15. Сили, які діють на корпус двигуна.
16. Сили інерції мас, що здійснюють зворотньо-поступальний і обертальний рухи.
17. Основні напрями подальшого розвитку ДВЗ.
18. Особливості конструкції основних систем і механізмів ДВЗ.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Автомобільні двигуни Ф.І.Абрамчук, Ю.Ф.Гутаревич, К.Є. Долганов, І.І. Тимченко. Підручник. – К: Арістей, 2007. –476 с.
2. Двигуни внутрішнього згоряння : серія підручників у 6 т./ ред. А. П. Марченко, А. Ф. Шеховцов ; НТУ "ХПІ". - Х. : Прапор, 2004.
3. Двигуни внутрішнього згоряння. Теорія [Текст]: Підручник / В.Г. Дяченко; За ред. А.П.Марченка. - Харків: НТУ “ХПІ”, 2008. – 488 с.
4. Конструкція та динаміка двигунів: Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл./ А.Г. Говорун, А.О. Корпач. – К.: НТУ, 2007. – 124 с.
5. Дмитриченко М.Ф., Матейчик В.П., Гришук О.К., Цюман М.П. Методи системного аналізу властивостей автомобільної техніки: Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. – К.: НТУ, 2013. – 164 с.
6. Випробування двигунів внутрішнього згоряння: Навч. посібник, друге вид., перероблене та доповнене / Ю.Ф.Гутаревич, А.О.Корпач, А.Г.Говорун – К.: НТУ, 2013.– 246 с.
7. Дмитриченко М.Ф., Матейчик В.П., Волков В.П. та ін. Програмне забезпечення систем моніторингу транспорту / Під ред. Дмитриченка М.Ф. – К.: НТУ, 2016. – 208 с.
8. Методичні вказівки до виконання теплового і динамічного розрахунків поршневих двигунів внутрішнього згоряння на ПЕОМ /Укл. К.Є. Долганов, А.А.Лісовал, Л.П.Мержиєвська. – К.: КАДІ, 1994. – 24 с.
9. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Автомобільні двигуни» (Розробка конструкції двигуна) для студентів з напряму підготовки «Інженерна механіка» за фаховим спрямуванням «Автомобілі і автомобільне господарство» денної форми навчання / Укладачі А.Г.Говорун, О.Д. Климпуш, А.А. Лісовал, О.С. Добровольський, М.П. Сельський. – К.: НТУ, 2008. – 52 с.
10. Методичні вказівки до виконання теплового і динамічного розрахунків з дисципліни «Автомобільні двигуни» для студентів денної форми навчання за напрямом: 6.070106 – «Автомобільний транспорт» (фахове спрямування – «Автомобілі та автомобільне господарство») / Укладачі Ю.Ф.Гутаревич, А.М.Редзюк. – К. : НТУ, 2009. – 51 с.
- 11.Скоб Ю.О., Угрюмов М.Л., Халтурін В.О. Основи програмування сучасним Фортраном. Навчальний посібник до лабораторного практикуму. — Х. : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харк. авіац. ін-т», 2016. — 96 с.
- 12.Семенова І., Лавренюк М. Завдання з програмування на фортрані. Навчальний посібник. Київ: КНУ ім. Тараса Шевченка, 2012. – 84 с.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Кафедра «Двигуни і теплотехніка»

**РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до курсової роботи з дисципліни

**«Математичне моделювання в дослідженнях ДВЗ»**

Виконав: студент групи АДм-І-1  
Клименко В.В.

Керівник: доцент Цюман М.П.

2023