

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 1

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Державного університету
«Житомирська політехніка»
протокол №4 від 15.08.2024 р.

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ для проведення лабораторних робіт з навчальної дисципліни «ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ АТЗ»

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»
спеціальності 274 «Автомобільний транспорт»
освітньо-професійна програма «Автомобільний транспорт»
факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки та робототехніки
кафедра автомобілів і транспортних технологій

Рекомендовано на засіданні
кафедри автомобілів і
транспортних технологій
27 червня 2024 р., протокол № 6

Розробники: професор кафедри автомобілів і транспортних технологій
ПИЛИПЕНКО Олександр; старший викладач кафедри автомобілів і
транспортних технологій ВІТЮК Іван

Житомир
2024

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 2

ЗМІСТ

Вступ. Загальні правила роботи в лабораторії	3
Лабораторна робота №1	5
Лабораторна робота №2	15
Лабораторна робота №3	22
Лабораторна робота №4	26
Лабораторна робота №5	39
Лабораторна робота №6	46
Лабораторна робота №7	53
Лабораторна робота №8	67

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 3

ВСТУП

Даний лабораторний практикум розрахований на студентів спеціальності „Автомобільний транспорт”.

Лабораторні роботи охоплюють окремі розділи лекційного курсу „Енергетичні установки АТЗ”.

В ході виконання лабораторних робіт студенти закріплюють і поглиблюють теоретичні знання і отримують практичні навички з роботою двигунів внутрішнього згорання та обслуговуванням систем та агрегатів двигуна. Виконання лабораторних робіт вимагає самостійності і високої творчої активності учнів. При цьому необхідна увага повинна приділятися питанням якості, продуктивності праці, економії трудових і матеріальних витрат.

Підготовка до виконання лабораторних робіт. Перш ніж приступити до виконання роботи, студент повинен вивчити її зміст, після чого викладач шляхом опитування перевіряє готовність учня до роботи. Особлива увага при цьому звертається на знання студентами правил техніки безпеки.

Звіт про виконання лабораторної роботи. Про виконання роботи кожен студент пред’являє викладачеві звіт, оформлений відповідно до вимог. Після захисту результатів роботи та оцінювання її якості викладачем, студенти допускаються до наступної роботи.

На лабораторних роботах відпрацьовуються методики експериментальних досліджень і техніка оволодіння методами вимірювань. При виконанні лабораторних робіт слід суворо дотримуватися техніки безпеки (ТБ), з якою повинен ознайомитися кожен студент під розписку. Студенти, які не пройшли інструктаж з техніки безпеки до лабораторних занять не допускаються. При порушенні правил техніки безпеки студент не допускається до подальших занять, а інформація про порушення ТБ доводиться до відома

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 4

інженера з ТБ інституту. Повторний допуск до виконання лабораторних, робіт студент отримує після нового інструктажу з техніки безпеки у відповідному відділі інституту.

До лабораторних звітів пред'являються такі вимоги:

1. Робота виконується акуратно без помарок і виправлень пастою або в комп'ютерному варіанті.
2. Звіт повинен містити назву роботи; мету роботи; креслення, схеми, діаграми, таблиці, які виконуються під лінійку.
3. Студент повинен відповісти на асі контрольні питання I, при необхідності, провести розрахунок згідно із завданням.
4. Висновок по лабораторній роботі. Висновок - це відповідь на поставлену мету роботи.

Вибір варіанту для виконання необхідних розрахунків з лабораторної роботи проводиться викладачем.

На лабораторну роботу відводяться години згідно робочого плану вивчення дисципліни. Якщо студент не встиг виконати лабораторну роботу в зазначений час, йому слід закінчити роботу в позаурочний час в присутності лаборанта.

Після виконання лабораторної роботи студент звітує перед викладачем про результати експериментальних досліджень. Вдома студент оформляє роботу і захищає її на наступному занятті перед отриманням нової роботи. Робота вважається виконаною, якщо в ній дотримані всі вимоги по її оформленню і немає зауважень до її висновків.

Після виконання всіх робіт студент отримує загальну оцінку з лабораторних робіт і допуск до іспиту.

Студент, який не виконав вище викладені вимоги, не допускається до іспиту до повного виконання комплексу лабораторних робіт, передбачених програмою.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 5

Лабораторна робота №1

Обладнання для випробування двигунів і вимірювання основних величин

Мета роботи: Закріплення та поглиблення теоретичних знань про роботу двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ)

Обладнання: електрична гальмівна установка, ваговий пристрій, реостат, моментоскоп.

Гальмівна установка

Потужність, що розвивається двигуном внутрішнього згорання під час випробувань, повинна повністю поглинатися зовнішнім опором. При стендових випробуваннях для цієї мети застосовують спеціальний пристрій, що зветься гальмом. Незалежно від принципу роботи кожний гальмівний пристрій має елемент, що крутиться разом з колінчастим валом двигуна (ротор), і статор, встановлений нерухомо або частіше усього підвішений на підшипниках. В останньому випадку кажуть, що статор має балансиру підвіску. Такий гальмівний пристрій одночасно дозволяє виміряти значення обертового моменту, який розвиває двигун.

Потужність, що поглинається гальмом любого типу, повинна плавно регулюватися на всьому діапазоні чисел обертів двигуна, що випробовується.

За принципом, який використовується для створення гальмівного моменту, гальма можна поділити на:

- механічні;
- повітряні;
- гідравлічні;
- електричні;
- індукторні;
- комбіновані. '

Найбільшого поширення при випробуванні поршневих двигунів

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 6

внутрішнього згорання набули електричні гальма (рис. 1.1), що являє собою електричні машини в балансірному виконанні, вал яких з'єднується з вадом двигуна, що випробовується.

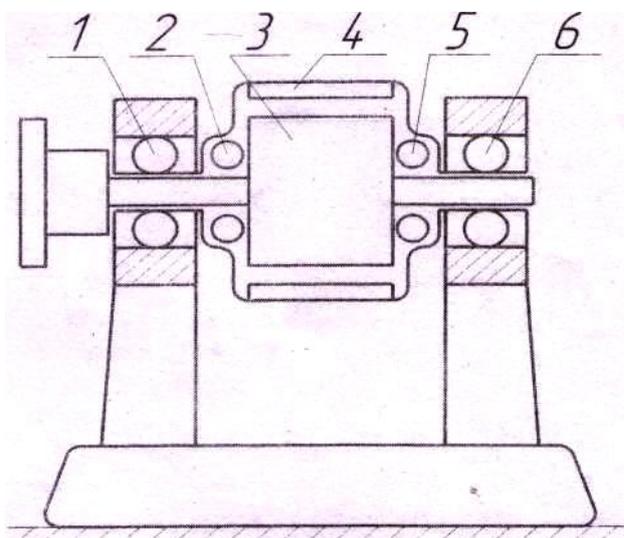


Рис. 1.1- Схема електричного гальма

Зараз широко використовується гальма як постійного струму, так і змінного. Механічна енергія двигуна в таких гальмах перетворюється в електричну і може бути знову використана. Завдяки цим властивостям електричні гальма вигідно відрізняються від гідрогальм та інших гальмових пристроїв.

Окрім того, електричні гальма дають можливість прокручувати вал, який випробовується, проводити його холодну обкатку після складання, запускати двигун без застосування стартера, визначити механічні втрати в ньому. До переваг електричних гальм слід також віднести можливість плавного безступінчастого регулювання в широкому діапазоні навантаження та частоти обертання і можливість дистанційного управління, що дає змогу автоматизувати процес управління таким 1 гальмом.

Принцип роботи електричного гальма в режимі навантаження (гальмівному) полягає в наступному. Якір 3 обертається, як в звичайній електричній машині в підшипниках 2 і 5, а статор 4 хитається в підшипниках 1 і

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 7

6. При обертанні якоря 3, з'єднаного з колінчастим валом двигуна, статор під дією магнітного поля якоря, що обертається, теж прагне обернутися на деякий кут в напрямку обертання якоря. Момент статора як і в гідравлічних гальмах, врівноважується за допомогою вагового пристрою. Значення моменту на статорі електричного гальма можна регулювати, змінюючи силу струму в обмотці збудження за допомогою реостату.

На рис. 1.2 показана принципова схема електрогальма з рекуперацією енергії. В загальному пристрій входить асинхронний чи синхронний двигун АД змінного струму, механічно з'єднаний з ним генератор постійного струму Г незалежного збудження і балансірне електрогальмо Т незалежного збудження, механічно зв'язане з двигуном Д, що випробовується. Гальмо електрично з'єднане з генератором Г, утворюючи ланцюг електрогальмо-генератор. Живлення обмоток збудження генератора та електрогальма здійснюється від двох автотрансформаторів АТр1 і АТр2 через випрямлячі В1 і В2.

Через те, що напруга Г при такій схемі може змінюватися майже з нуля до максимальної, частота обертання електрогальма може змінюватися від мінімального значення до максимального, відповідно до найбільшої напруги генератора.

Щоб повернути колінчастий вал двигуна, коли потрібен великий початковий момент при малій частоті обертання, створюється максимальне збудження електрогальма за допомогою трансформатора АТр2 і максимальне збудження генератора за допомогою трансформатора АТр1. Повільно збільшуючи силу струму збудження генератора, надають обертів колінчастому валу двигуна. Для подальшого збільшення частоти обертання сили струму збудження гальма зменшують.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 8

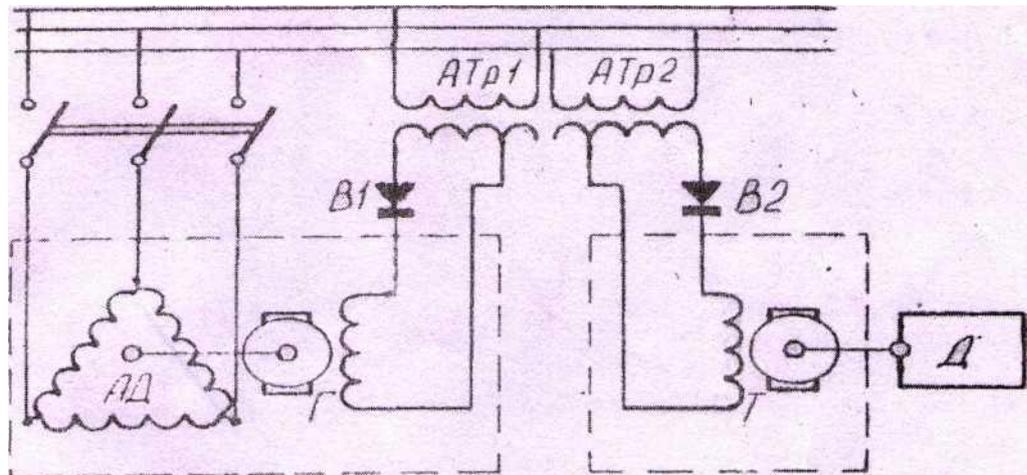


Рис. 1.2 - Принципова схема підключення електричної балансирної машини постійного струму до загальної електричної мережі, яка забезпечує рекуперацію енергії способом її електромашинного перетворення

Перехід електромашини з режиму провертання колінчастого валу . двигуна на режим гальмування здійснюється автоматично, без доларових електричних перемикачів; необхідно тільки ввімкнути подачу палива і запалення двигуна. При цьому двигун перейде в режим роботи зі збільшеною частотою обертання, а електрогальмо - з рушійного режиму в генераторний. В цьому випадку енергія від гальма передається генератору Г, він починає працювати в режимі двигуна змінного струму. Коли частота обертання трохи перевищує частоту обертання двигуна змінного струму, він починає працювати в режимі генератора і віддає енергію в мережу змінного струму.

Щоб збільшити момент, який потрібен для обертання асинхронного генератора, треба збільшити обертовий момент двигуна, що приводить його в дію (генератора Г). Оскільки момент, який розвиває генератор Г, залежить від сили струму в ланцюзі якоря і від значення магнітного поля статора, то це викличе пропорційне збільшення сили струму в ланцюзі електрогальмо-генератор (при умові незалежності збудження генератора і гальма), що здійснюється автоматично при збільшенні потужності двигуна, який випробовується. Такий характер зміни сили струму і потужності в ланцюзі

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 9

електрогальмо-генератор забезпечує автоматичну підтримку частоти обертання двигуна незалежно від зміни його потужності.

Вимірювання витрати повітря

Найбільшого поширення під час випробувань автотранспортних двигунів набули ротаційні газові лічильники, дискові діафрагми і труби Вентурі.

Ротаційний газовий лічильник (рис. 1.3) складається з верхнього 2 і нижнього 4 роторів, які встановлені всередині корпусу. Ротори кінематично пов'язані між собою шестернями і крутяться під дією перепаду тиску на вході і виході. Від валу нижнього ротору 4 обертання передається через привідний механізм лічильникові б. лічильник показує витрату повітря в кубічних метрах.

Між повітроміром і двигуном розміщується ресивер 1, який ліквідує вплив пульсації поступаючого повітря на показники лічильника.

Для того, щоб повітромір негативно не впливав на роботу двигуна, необхідно, щоб перепад тиску на вході і виході з повітроміра не перевищував 25 мм вод. ст.

Перепад тиску вимірюється диференціальним манометром 3.

Часова витрата повітря визначається за такою формулою:

$$Q_n = \frac{3600 \Delta V_n}{t} \text{ (м}^3\text{/год);}$$

де ΔV_n — витрата повітря під час дослідження, м³;

t - час витрати об'єму повітря ΔV_n . с.

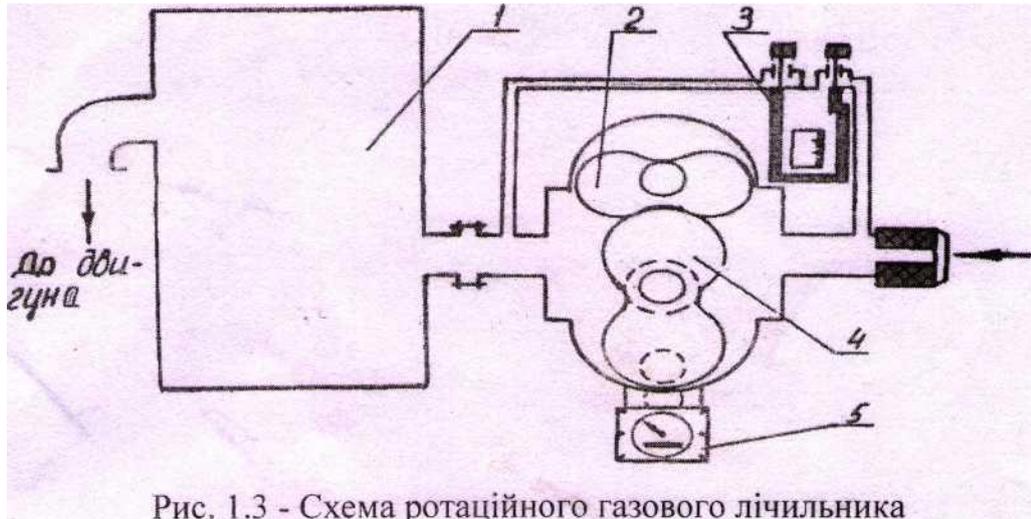
Основні переваги ротаційних лічильників є точність вимірювань і малі втрати тиску.

Крім цього, конструкція лічильника дозволяє дистанційно виміряти витрату повітря.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 10

Вимірювання кута випередження запалення

Щоб виміряти кут випередження запалення двигун доповнюють спеціальним приладом - моментоскопом, який дає можливість визначити момент проскакування іскри між електродами свічки.



На рис. 1.4. зображено схему приладу для виміру кута випередження запалення в двигуні, який має батарейну систему запалення. Прилад складається з додаткової індукційної котушки 4, обмотки якої з'єднуються паралельно з обмотками індукційної котушки 3 системи запалення. Вмикання додаткової індукційної котушки 4 в електричний ланцюг здійснюється вмикачем 5. Вивід вторинної обмотки додаткової котушки 4 з'єднаний з новою лампою 6.

До колінчастого валу двигуна кріпиться диск з шкалою 7, а до кришки розподільних шестерень чи до рами стану - стрілка 8. В момент, коли нуль на шкалі співпадає з стрілкою, поршень в першому циліндрі двигуна знаходиться в верхній мертвій точці (ВМТ). Коли розмикаються контакти переривника-розподільника у вторинних обмотках котушок індукується висока напруга, яка забезпечує проскакування іскри між електродами свічки і одночасно світіння неонові лампи.

Направляючи світло неонові лампи на шкалу в місці встановлення

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 11

стрілки, за шкалою визначають кут випередження запалення.

Згідно з ДЕСТ 491-55 всі прилади, що застосовуються під час випробовувань автотракторних двигунів, повинні бути спочатку перевірені чи витарувані відповідно до існуючих положень про контроль вимірювальних приладів. Вони повинні мати сертифікати чи пломби перевірки, або протоколи тарування.

Опрацювання результатів випробувань

Після закінчення випробувань зняті показники приладів всіх вимірюваних ділянок записують у відповідні графи протоколу і в залежності від призначення, вони підлягають тому чи іншому опрацюванню. Всі підрахунки під час опрацювання результатів випробувань виконують з точністю до трьох цифр і також заносять у відповідні графи протоколу. Після заповнення протоколу випробувань за результатами замірів та розрахунків будують необхідні графіки.

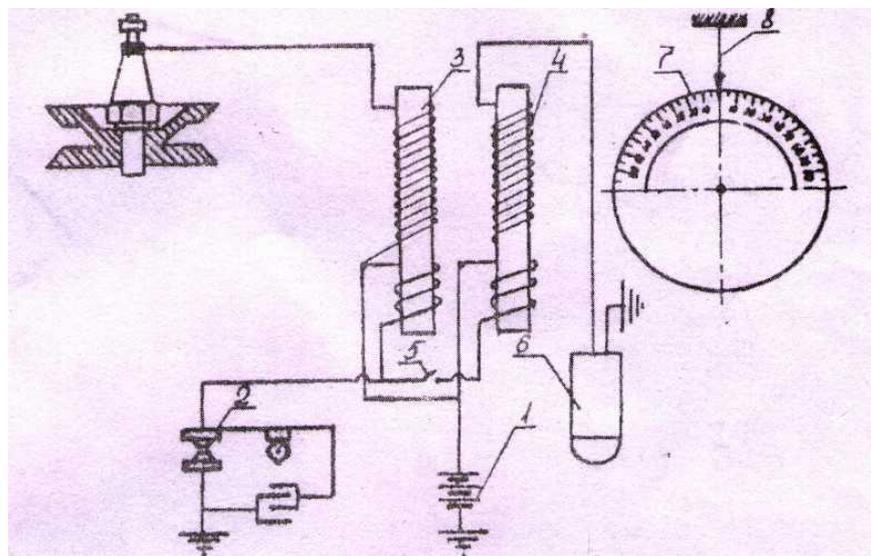


Рис. 1.4 - Схема приладу для виміру кута випередження запалення

Техніка безпеки під час проведення лабораторних робіт

Під час роботи в лабораторії випробувань двигунів внутрішнього згорання необхідно дотримуватись таких правил техніки безпеки:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 12

1. Категорично забороняється курити і користуватись відкритим вогнем.
2. У випадку виникнення пожежі накинути на вогнище азбестову кошму і використати вогнегасник та пісок. Паливні баки при цьому відключити.
3. Забороняється вмикати прилади, кнопочні перемикачі, рубильники, крути вентиля, пересувати важелі керування та виконувати інші дії без дозволу викладача або лаборанта.
4. Забороняється безпосередня робота на випробувальному пристрої, в одязі з кінцями, які розвіваються (поли халата, плаття, шарфи, тощо).
5. Перед пуском двигуна включити пристрої для проточної і витяжної вентиляції приміщення лабораторії.
6. Під час роботи з етилованим бензином не допускати попадання його на шкіру. У випадку попадання на шкіряний покрив етилового бензину, змити його теплою водою з милом.
7. Забороняється засмоктувати ротом бензин в шланг і продувати ротом паливо проводи.
8. Під час пуску двигуна, а також під час його роботи забороняється знаходитися напроти валу привода гальма і шківів, які крутяться, а також торкатися частин пристрою, які крутяться.
9. Щоб запобігти опіків забороняється торкатися вихлопного колектора, вихлопного газопроводу, а також стояти біля них під час випробувань.
10. Особливої обережності слід дотримуватись під час роботи з приладами, які містять в собі ртуть. Не допускати розливу і розбризкування ртуті, а також попадання її в очі та порожнини рота.
11. Забороняється одному проводити будь-які випробування.
12. Якщо сталося травма, слід застосувати засоби, які містяться в аптечці лабораторії, або звернутися за допомогою в медпункт інституту, або визвати швидку медичну допомогу.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 13

13. Після закінчення роботи відключити паливні баки, рубильники силової мережі та закрити крани водопровідної магістралі.

14. Заправку паливного бака слід робити тільки тоді, коли двигун не працює.

15. Не допускається підтікання в паливопроводі, баках і приладах системи живлення двигуна.

16. Не допускається забруднення двигуна паливом і мастилом.

17. Не можна залишати в лабораторії забруднені обтирочні матеріали і зберігати паливо (за винятком того, що знаходиться у бакові) і тару з-під палива.

18. Забороняється протирати двигун чи інші механізми бензином, а також мити бензином руки або чистити одяг.

19. Перед тим, як проводити лабораторні роботи, керівник повинен ознайомити студентів з правилами техніки безпеки на робочому місці та продемонструвати безпечні способи праці.

Після проходження вступного інструктажу в журналі по техніці безпеки робиться запис з особистим підписом кожного студента. Студенти, які не пройшли цей інструктаж, до роботи в лабораторії двигунів не допускаються.

Запитання для самоперевірки

1. Типи гальмових пристроїв.
2. Принцип дії електричних гальм.
3. Методика виміру витрати палива.
4. Принцип дії ротаційного газового лічильника.
5. Методика виміру витрати повітря.
6. Принцип дії приладу для вимірювання кута випередження запалення.
7. Методика опрацювання результатів випробувань.
8. Правила побудови графіків.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 14

Лабораторна робота № 2.

Тепловий баланс. Визначення втрат тепла через систему охолодження автомобільного двигуна

Мета роботи: Вивчення теплового балансу двигуна і практичне визначення втрат тепла через систему охолодження автомобільного двигуна.

Обладнання: двигун M10 BMW, витратомір рідини, пірометр лазерний GM300 (-50 +380°C), термометри 0-150 °C (два), витратомір палива, ваги, набір гирьок, тестер автомобільний, секундомір.

Параметри що змінюються: фази прогріву двигуна від температури навколишнього середовища до номінальної робочої температури; режими роботи двигуна (холостий хід, середні обороти 0,8 від максимальних обертів колінчастого валу).

Хід роботи

Тепловий баланс двигуна представляє собою визначення дослідним шляхом розподіл теплоти, що вводиться в двигун з паливом, на корисно використовувану теплоту і окремі види втрат:

$$Q_1 = Q_e + Q_{охл} + Q_M + Q_{ог} + Q_{НС} + Q_{ост}$$

де Q_1 - кількість теплоти, що вводиться в двигун з паливом за певний відрізок часу, наприклад, за 1 год:

$Q_1 = H_u G_T$ (Q_1 - витрата палива, кг / год; H_u - нижча теплота згоряння палива, кДж / кг);

Q_e - кількість теплоти, перетвореної на корисну роботу; $Q_e = H_u G_T \eta_e$ (η_e - ефективний ККД двигуна);

$Q_{охл}$ - кількість теплоти, що передається охолоджувальній рідині;

$Q_{охл} = c_{охл} (t_{вих} - t_{вх}) G_{охл}$, $c_{охл}$, $G_{охл}$ - питома теплоємність і витрата охолоджуючої рідини; $t_{вих}$ і $t_{вх}$ - температура охолоджуючої рідини відповідно на виході і вході системи;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 15

Q_M - кількість теплоти, що передається мастилі (цей член теплового балансу виділяється зазвичай при наявності на двигуні автономного теплообмінника для охолодження мастила і визначається аналогічно $Q_{охл}$. У більшості випадків Q_M включається в кінцевий член теплового балансу;

$Q_{ог}$ - втрата теплоти з відпрацьованими газами;

$$Q_r = G_T [M_2(\mu_{cv}) \cdot t_r - M_1(\mu_{cp}) t_k]$$

Q_r - кількість вихідних і вхідних газів в циліндр двигуна в кМоль на 1 кг згорілого палива;

μ_{cv} і μ_{cp} - мольне теплоємності при постійному тиску відповідно продуктів згорання і свіжого заряду, Дж (кМоль • С);

t_r - температура відпрацьованих газів за випускним патрубком;

t_k - температура свіжого заряду на впуску в циліндрі двигуна, ° С.

$Q_{нс}$ - теплота, не виділилася в двигуні внаслідок неповноти згорання. Для її визначення необхідно знати склад продуктів згорання і теплоту згорання кожного з продуктів неповного окислення палива. При $\alpha > 1$ цей член не визначається і відповідна йому частину теплоти включається до $Q_{ост}$, при $\alpha < 1$ можна обчислити кількість теплоти, що теоретично не може виділитися з-за нестачі повітря за виразом

$$Q_{ним} = \Delta H_u G_T, \Delta H_u = 1,16 \cdot 10^5 (1 - \alpha) L_0$$

При цьому теплота, відповідна різниці між $Q_{нс}$ і $Q_{ним}$ також включається до $Q_{ост}$. У $Q_{ост}$ крім Q_M , $Q_{нс}$ або $Q_{нс} - Q_{ним}$ входить теплота, розсіюється в навколишнє середовище зовнішніми поверхнями двигуна і його агрегатів, а також теплота, яка відповідає кінетичній енергії ОГ. На величину $Q_{ост}$ природно впливає похибка визначення складових теплового балансу. Теплоту $Q_{охл}$, Q_M і $Q_{ог}$ використовують при розрахунку систем охолодження, мащення і наддуву.

За величиною $Q_{нс}$ можна судити про ступінь неповноти згорання і намітити шляхи підвищення тепловикористання, за величиною $Q_{охл}$ лише

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 16

орієнтовно про резерви підвищення тепловикористання шляхом більш раціонального охолодження деталей. Останнє пов'язане з тим, що в $Q_{охл}$ входить не тільки теплота, що передається від газів в циліндрі (зменшенням якої можна підвищити η_i), але і теплота, що передається від газів охолоджуючої рідини у випускному каналі (а у разі охолоджуваного випускного трубопроводу і в трубопроводі), а також значна частина теплоти, що відповідає механічним втратам (інша частина передається через масло і розсіюється зовнішніми поверхнями двигуна). На величину η_i впливає не тільки загальна кількість теплоти, переданої від РТ охолоджуючої рідини, але і залежність цих втрат від положення поршня. Тому для аналізу впливу на η_i теплових втрат залучається внутрішній тепловий баланс, що дає уявлення про динаміку цих втрат і перетворення теплоти в роботу.

Тепловий баланс можна визначити у відсотках від усієї кількості введеної теплоти. Тоді

$$100 = q_e + q_{охл} + q_M + q_{ог} + q_{нс} + q_{ост};$$

$$\text{де, } q_e = Q_e \cdot 100 / Q_0;$$

$$q_{охл} = Q_{охл} \cdot 100 / Q_0;$$

$$q_M = Q_M \cdot 100 / Q_0 \text{ и т.д}$$

Для прикладу наведено графік (рис.1) за розподіленням складових теплового балансу. На режимі повного навантаження найбільш вагомими членами теплового балансу є втрати з ОГ і корисно використовується теплота (тут $q_{нс}$ включено в $q_{ост}$) Частка теплоти, що передається охолоджуючій рідині, менша. Це пов'язано частково з тим, що об'єктом розгляду є дизель з наддувом. Втрата $q_{охл}$ зменшується із зростанням навантаження і частоти обертання. Пов'язано з переважаючим впливом зменшення часу теплообміну. Частка втрат з ОГ мало залежить від навантаження і, як правило, збільшується із зростанням

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 17

n. На характер $q_{ог} = f(n)$ природно, впливає зменшення часу охолодження продуктів згоряння із зростанням n. Характер зміни q_m з режимом роботи можна пояснити зміною частки індикаторної роботи, що витрачається на механічні втрати. Теплота $Q_{ост}$ мало залежить від режиму роботи, тому $q_{ост}$ зростає при зменшенні частоти обертання і особливо навантаження двигуна.

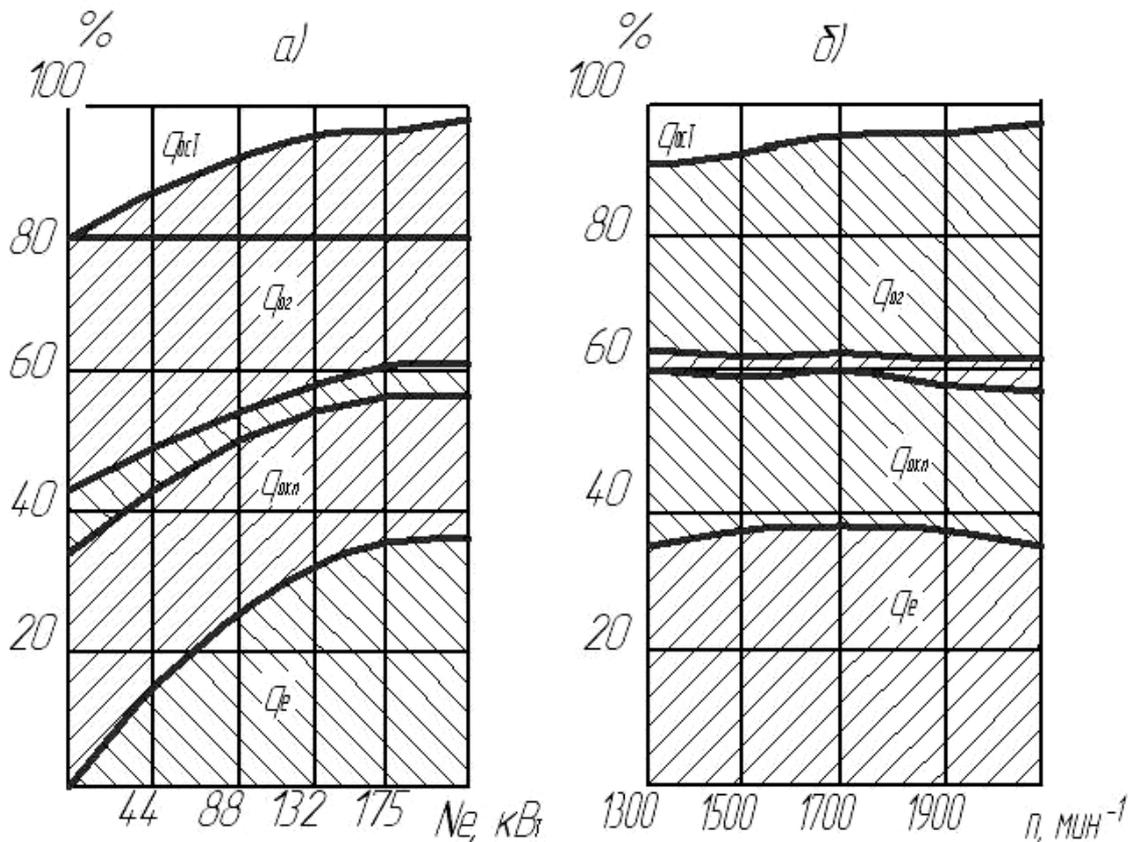


Рис.1. Залежності використання підведеної з паливом теплоти до двигуна від його навантаженості (а) та частоти обертання колінчастого валу (б).

Тепловий баланс карбюраторного двигуна.

$$Q_0 + Q_e + Q_B + Q_T + Q_{н.с} + Q_{ост} = Q_1$$

1. Загальна кількість теплоти введена в двигун з паливом;

$$Q_0 = H_u G_T / 3.6,$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 18

де, H_u - нижча теплота згорання палива ;

G_T – годинна витрата палива кг/год.

2. Теплота, еквівалентна ефективній роботі за 1 с.:

$$Q_e = 1000N_e,$$

де, N_e – ефективна потужність двигуна

3. Теплота, що передається навколишньому середовищу;

$$Q_B = c i D^{1+2m} n^m (H_u - \Delta H_u) / (a H_u),$$

де, $c=0,45 \div 0,53$ – коефіцієнт пропорційності для чотирьохтактних двигунів.

В розрахунках прийнято $c=0,5$

i – число циліндрів;

D – діаметр циліндра, см;

n – частота обертання колінчастого вала двигуна, об/хв;

$m = 0,6 \div 0,7$ – показник степені для чотирьохтактних двигунів. В розрахунках прийнято при $n=1000$ об/хв $m=0,6$, а на всіх інших швидкісних режимах – $m=0,65$.

ΔH_u – кількість теплоти, втраченої в наслідок хімічної не повноти згорання палива

a - коефіцієнт надлишку повітря.

5. Теплота, віднесена з відпрацьованими газами;

$$Q_r = (G_T / 3.6) \{ M_2 [(mc_v)_{t_r}^{t_r} + 8,315] t_r - M_1 [(mc_v)_{t_0}^{20} + 8.315] t_0 \}$$

де, $(mc_v)_{t_r}^{t_r}$ – теплоємність залишкових газів кДж/(кмоль·град) ;

$(mc_v)_{t_0}^{20}$ – теплоємність свіжого заряду кДж/(кмоль·град);

M – кількість вхідних і вихідних газів в циліндр двигуна в кмоль на 1 кг

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 19

6. Теплота втрачена із-за хімічної неповноти згорання палива:

$$Q_{н.с.} = \Delta H_{ц} G_T / 3.6$$

Таблиця 1. Складові теплового балансу

Складові теплового балансу	Частота обертання двигуна, об/хв							
	1000		3200		5600		6000	
	Q, Дж/с	q, %	Q, Дж/с	q, %	Q, Дж/с	q, %	Q, Дж/с	q, %
Теплота еквівалентна ефективній роботі	12 700	28,9	42 770	32,3	60 420	27,2	60 140	25,8
Теплота, яка передається навколишньому середовищі	10 810	24,6	42 050	31,7	60 510	27,3	63 280	27,1
Теплота, віднесена з відпрацьованими газами	9 610	21,8	38 770	29,3	71 060	32,0	74 940	32,1
Теплота втрачена із-за хімічної неповноти згорання палива	8 680	19,7	7 470	5,6	12 510	5,7	13 150	5,6
Не враховані втрати теплоти	2 220	5,0	1 510	1,1	17 420	7,8	21 870	9,4
Загальна кількість теплоти, введеної в двигун з паливом	44 020	100	132570	100	221920	100	233380	100

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 20

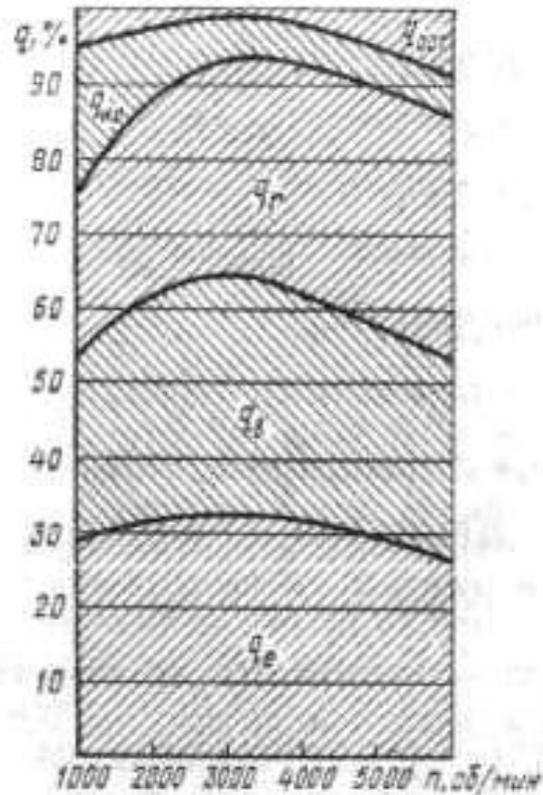


Рис. 2. Залежність складових тепловому балансу карбюраторного двигуна від частоти обертання колінчастого вала

Контрольні запитання

1. Дати визначення тепловому балансу двигуна і записати його рівняння.
2. Написати формули для визначення складових тепловому балансу і пояснити їх.
3. Як залежить величина витрат тепла через систему охолодження від режиму роботи двигуна?
4. Поясніть особливість графіку $T_p=f(t)$ на режимі прогріву двигуна.
5. Перерахуйте причини перегріву двигуна, його роботи при знижених температурах.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 21

Лабораторна робота № 3.

Визначення втрат теплоти з відпрацьованими газами двигуна внутрішнього згорання

Мета роботи: експериментальне визначення витрат теплоти поршневого двигуна внутрішнього згорання з відпрацьованими газами на різних режимах його роботи.

Обладнання: двигун M10 BMW, пірометр лазерний GM300 (-50+380°C), витратомір газів, термометр 0±150°C, витратомір палива, терези, набір гирьок, тестер автомобільний, секундомір.

Параметри, що змінюються: режим роботи двигуна (холостий хід середні оберти, 0,8 від максимальних обертів колінчастого вала); кут випередження запалювання (номінальний, раніший за номінальний на 5°, пізніший за номінальний на 5°).

Теоретичні відомості

Теплота, що виділяється при горінні палива, не може бути повністю трансформована в корисну роботу, оскільки відповідно до другого закону термодинаміки частина теплоти неминуче має бути віддана холодному джерелу. Витрачання теплоти згорання палива, внесеного до двигуна за певний період, на корисну роботу і різні втрати характеризується тепловим балансом. Складові члени теплового балансу можуть бути вказані в теплових одиницях (МДж) на одиницю часу роботи двигуна або у відсотках по відношенню до всієї кількості теплоти палива.

Рівняння теплового балансу в загальному вигляді:

$$Q_0 = Q_e + \sum_{i=1} Q_{\text{втр}} = Q_e + Q_{\text{ох.}} + Q_{\text{в.г.}} + Q_{\text{м}} + Q_{\text{н.зг}} + Q_{\text{зал.}},$$

де: $i=1$

Q_0 - кількість теплоти, підведена з паливом;

Q_e – ефективна теплота;

$Q_{\text{ох.}}$ – теплота, відведена в систему охолодження;

$Q_{\text{в.г.}}$ – кількість теплоти, яка відводиться відпрацьованими газами;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 22

Q_M – кількість теплоти, яка віддається масляній системі;

$Q_{н.зг}$ – кількість теплоти, яка відповідає теоретичній неповноті згорання палива;

$Q_{зал.}$ – інші теплові втрати.

Кількість теплоти $Q_{в.г}$, яка відводиться з відпрацьованими газами, визначається за допомогою калориметра або розраховується по різниці тепловмісткості відпрацьованих газів і свіжого заряду з врахуванням теплоти, внесеної з паливом,

$$Q_{о.г} = \left[M_2 I \Big|_{о}^{T_{о.г}} - M_1 I \Big|_{о}^{T_{о}} - c_{топ} T_{о} \right] G_T$$

тобто

де M_2 і M_1 - кількість кіломолей відповідно продуктів згорання і свіжого заряду, що приходить на 1 кг палива; $T_{в.г}$ і $T_{о}$ – температури відповідно відпрацьованих газів і свіжого заряду; $c_{топ}$ – теплоємність палива; G_T – годинна витрата палива.

При вираженні складових теплового балансу у відсотках маємо

$$q_e + q_{ох.} + q_{в.г} + q_M + q_{н.зг} + q_{зал.} = 100\%,$$

$$\text{де: } q_e = (Q_{в}/Q_{о})100\%; \quad q_{ох.} = (Q_{ох}/Q_{о}) 100\%$$

На рис.1 приведена залежність теплоти відпрацьованих газів від навантаження и частоти обертання колінчастого вала для карбюраторного двигуна .

Рис.1а показує зміни по характеристиці навантаження.

Зі збільшенням частоти обертання для карбюраторного двигуна (рис.1б) теплота відпрацьованих газів значно збільшується.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 23

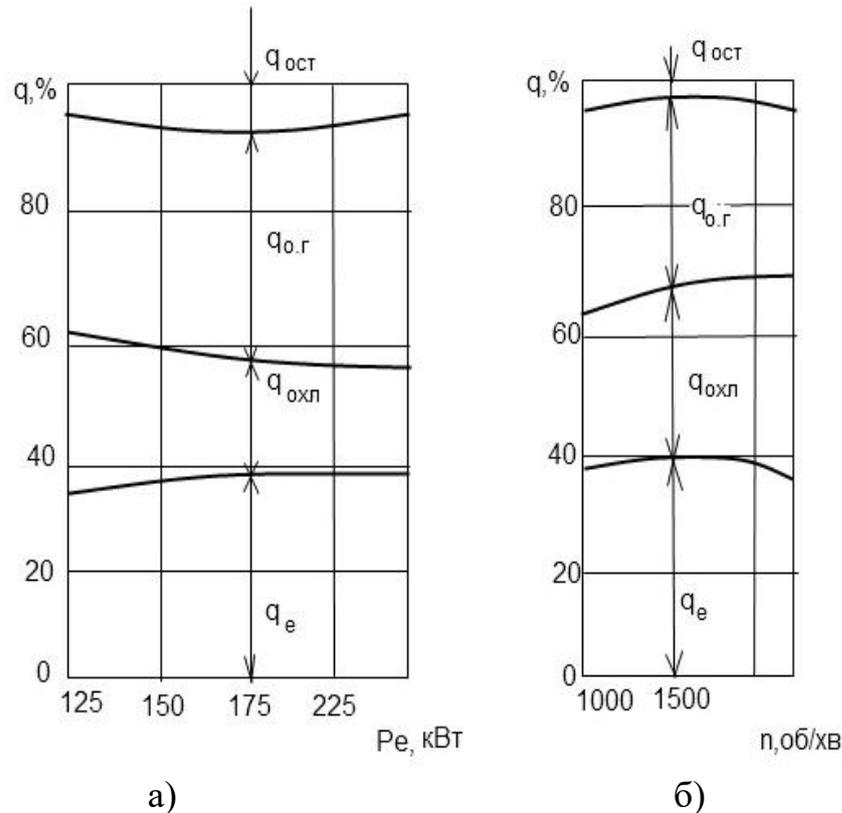


Рис.1.Зміна теплоти відпрацьованих газів у відсотках:
Карбюраторний двигун – 35-50%
Дизель: без наддуву – 25-45% з наддувом – 25-40%.

Вплив відпрацьованих газів на навколишнє середовище

До складу відпрацьованих газів автомобіля входять такі шкідливі речовини (окис вуглецю, азоту, різні вуглеводні, сірчаний газ, з'єднання свинцю, сажа), які шкідливо впливають на здоров'я людини, послаблюючи здатність крові постачати організму кисень, що впливає на сприйняття навколишнього світу, реакцію, викликає млявість. У результаті неповного згоряння палива виникають частинки сажі, які при вдиханні з повітрям глибоко проникають у легені і провокують респіраторні захворювання, бронхіт та астму.

Порядок виконання роботи

1. Перевірити готовність механізмів і систем двигуна до роботи.
2. Записати значення температури у випускному тракті двигуна; показчиків витратомірів газів та палива.
3. Запустити двигун і включити секундомір.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 24

4. Через кожні 30 сек роботи двигуна на режимі прогрівання фіксувати значення температури, показчиків витратомірів відпрацьованих газів і палива та температури охолоджувальної рідини.
5. Зафіксувати час від запуску двигуна до стабілізації температури охолоджувальної рідини, витрату газів та палива.
6. Підключити тестер автомобільний до системи запалювання двигуна в режимі вимірювання частоти обертання колінчастого вала. Зафіксувати початкові значення температури, показчиків витратомірів газів і палива.
7. Запустити двигун, дати йому попрацювати 5хв в режимі холостого ходу і заглушити. Записати значення вимірних параметрів.
8. Запустити двигун і дати йому попрацювати при частоті обертання колінчастого валу 1800 об/хв на протязі 5 хв, зафіксувати значення температури газів. Заглушити двигун і записати значення показчиків витратомірів відпрацьованих газів і палива.
9. Запустити двигун і дати йому попрацювати при частоті обертання колінчастого валу 2800 об/хв на протязі 5хв, зафіксувати значення температури відпрацьованих газів. Заглушити двигун і записати значення показчиків витратомірів відпрацьованих газів і палива.
10. Обчислити кількість теплоти, яка відводиться з відпрацьованими газами на різних режимах роботи двигуна (за пп 7,8,9) та її частку в тепловому балансі.
11. Побудувати графік зміни в часі температури відпрацьованих газів в процесі прогріву двигуна $T_g=f(t)$.
12. Проаналізувати результати досліджень і зробити відповідні висновки.

Контрольні запитання:

1. Як визначити експериментально кількість теплоти, відведеної від двигуна з відпрацьованими газами? Навести схему установки.
2. Як визначити аналітично кількість теплоти, відведеної від двигуна з відпрацьованими газами?
3. Як залежить величина втрат тепла через систему випуску відпрацьованих газів від режиму роботи двигуна?
4. Поясніть особливості графічної залежності $T_g=f(t)$ на режимі прогріву двигуна.
5. Як залежить кількість теплоти, відведеної від двигуна з відпрацьованими газами, від витрати палива?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 25

Лабораторна робота №4

Вплив регулювань системи запалювання на потужнісні характеристики автомобільного двигуна

Мета роботи: визначення впливу регулювань системи запалювання автомобільного двигуна на показники його потужності і приймістості.

Обладнання: двигун BMW M10, тестер автомобільний, датчик частоти обертання колінчастого вала двигуна, секундомір, набір щупів, набір інструментів, витратомір палива.

Параметри, що змінюються: кут замкненого стану контактів переривника; кут випередження запалювання; зазор між контактами свічок запалювання.

Теоретичні відомості

Система запалювання - це одна з головних систем в автомобілі, яка призначена для запалення робочої суміші в циліндрах двигунів внутрішнього згоряння. Система запалювання буває трьох типів: контактна; безконтактна; контактнo-транзисторна.

Контактна система запалювання

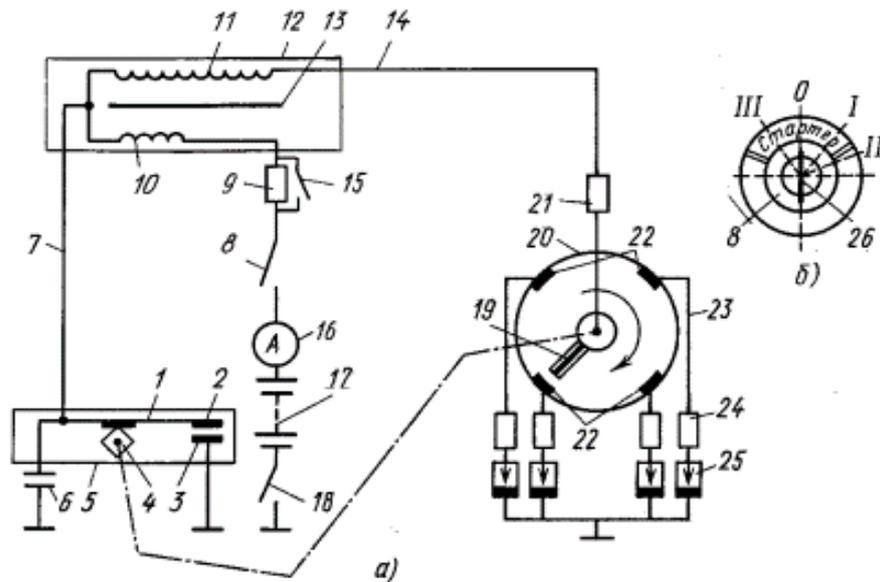


Рис. 1. Схема контактної системи батарейного запалювання:

а - схема; б - положення ключа вимикача запалення і стартера;

1 - важіль запалювання; 2 - рухомий контакт; 3 - нерухомий контакт; 4 - кулачок; 5 - переривач низької напруги; 6 - конденсатор; 7, 14 і 23 - провід; 8 - вимикач запалювання; 9 - додатковий резистор; 10 - первинна обмотка; 11 -

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 26

вторинна обмотка; 12 - котушка запалювання; 13 - магнітопровід; 15 - вимикач додаткового резистора; 16 - амперметр; 17 - акумуляторна батарея; 18 - вимикач ланцюга акумуляторної батареї; 19 - ротор з електродом; 20 - розподільник; 21 і 24 -- резистори; 22 - електроди; 25 - свічка запалювання; 26 - ключ вимикача запалювання.

При замиканні контактів запалювання струм від акумуляторної батареї проходить по первинній обмотці котушки запалювання, створюючи навколо неї магнітне поле. Ланцюг низької напруги наступна: позитивна клемма акумуляторної батареї 17 - амперметр 16 - вимикач запалювання 8 - додатковий резистор 9 - первинна обмотка 10 - провід 7 - рухомий контакт 2 - нерухомий контакт 3 - вимикач маси 18 ланцюга акумуляторної батареї – негативна клемма акумуляторної батареї.

При розмиканні контактів переривника знеструмлюється первинна обмотка котушки запалювання і різко зменшується магнітне поле. Магнітний потік зникає поля перетинає витки вторинної та первинної обмоток, при цьому індукує електрорушійну силу (ЕРС) високої напруги у вторинній і ЕРС самоіндукції в первинній обмотці. Імпульси високої напруги підводяться до свічок запалювання відповідно до порядку роботи циліндрів двигуна. Ротор 19, що обертається, своїм електродом розподіляє імпульси високої напруги по електродах кришки розподільника. Частота обертання ротора в 2 рази менше частоти обертання колінчастого валу і, таким чином, збігається з частотою обертання кулачка переривника. Положення пластини ротора навпроти кожного з електродів кришки розподільника відповідає розімкнутому станом контактів переривника.

Котушка запалювання (індукційна) призначена для перетворення струму низької напруги на струм високої напруги.

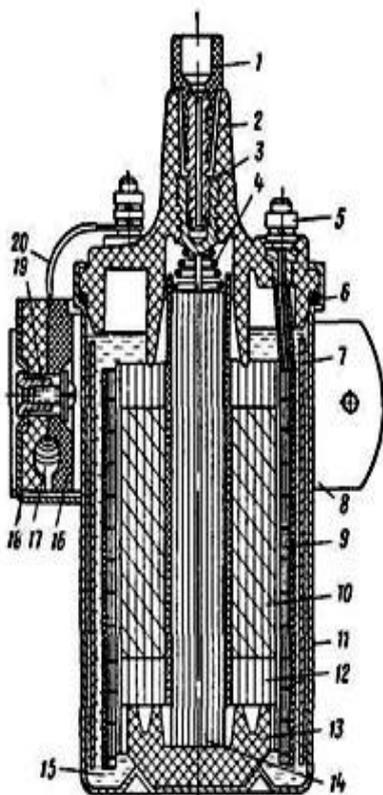


Рис.2. Котушка запалювання .

- 1 - наконечник проводу високої напруги;
- 2-кришка;
- 3 - гніздо висновку обмотки високої напруги;
- 4 - контактна пружина;
- 5 - зажим обмотки низької напруги;
- 6 - прокладка;
- 7 - пластина;
- 8 - кронштейн;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 27

- 9 - первинна обмотка;
- 10 - вторинна обмотка;
- 11 - корпус;
- 12 - ізоляційні прокладки;
- 13 - ізолятор;
- 14 - пластинчастий сердечник;
- 15 - масло;
- 16 - ізолятор;
- 17 - додатковий опір;
- 18 - пластина кріплення опору;
- 19 - гвинт;
- 20 - затискач ВКБ додаткового опору.

На залізний пластинчастий сердечник 14 намотані вторинна, а поверх неї первинна обмотки. Обмотки приєднані до затискачів і гнізда карболітової кришки 2, до якої вкручений наконечник 1 дроту високої напруги. Вільний простір в кожусі заповнено маслом. Додатковий опір 17 закріплено на корпусі котушки за допомогою встановленої скоби (кронштейна) 8.

Переривник-розподільник. Переривник призначений для розмикання і замикання кола низької напруги, тобто первинного кола котушки запалювання. Розподільник призначений для розподілу струму високої напруги, який надходить від котушки запалювання до свічок запалювання багаточиліндрових двигунів відповідно до порядку роботи циліндрів.

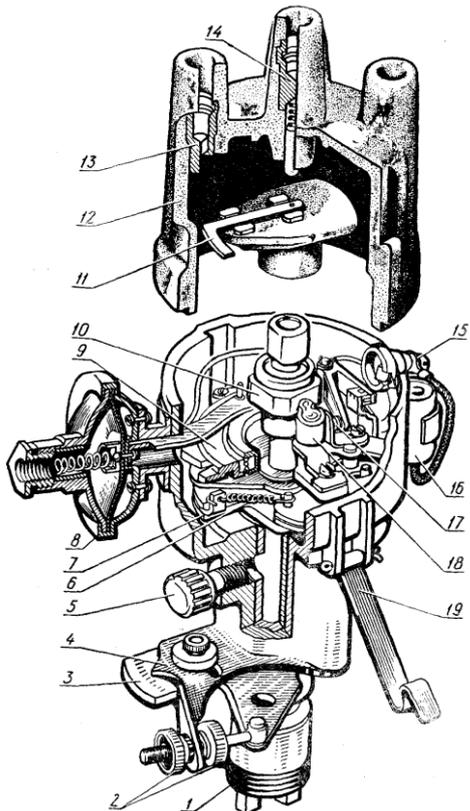


Рис. 3. Переривач-розподільник

- 1 - з'єднувальна муфта приводу;
- 2 - регулювальні гайки октан-коректора;
- 3 - шкала;
- 4 - рухома пластина;
- 5 - масляка;
- 6 - пружина грузика;
- 7 - грузик;
- 8 - вакуумний регулятор випередження запалювання;
- 9 - рухомий диск;
- 10 - кулачок;
- 11 - розносної пластина ротора;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 28

- 12 - кришка розподільника;
- 13 - бічна клема,
- 14 - центральна клема;
- 15 - клема низької напруги;
- 16 - конденсатор;
- 17 - контакти запалювання;
- 18 - повстяний гніт;
- 19 - застібка кришки.

Переривач складається з корпусу, всередині якого міститься приводний валик, з'єднаний через відцентровий регулятор з кулачком 10, нерухомого опорного диска та рухомого диска 9. Зовні корпусу укріплені вакуумний регулятор випередження запалювання 8 і конденсатор 16. На рухомому диску встановлено: нерухомий контакт 17, з'єднаний з масою, рухомий контакт, ізольований від маси та з'єднаний провідником з ізольованою клемою низької напруги 15, і гніт 18 для змащування кулачка 10. Нерухомий контакт встановлений на спеціальному майданчику, закріпленому на диску гвинтом. Площадка разом з контактом може переміщуватися ексцентриком, що дає можливість регулювати зазор між контактами. Рухомий контакт за допомогою пластинчастої пружини притискається до нерухомого контакту. При обертанні валика кулачок своїми виступами періодично відтискає рухомий контакт, і контакти розмикаються, перериваючи струм низької напруги. Змикання контактів здійснюється за допомогою пластинчастої пружини. Нормальний зазор між контактами переривника, що знаходяться в повністю розімкненому стані - 0,35-0,45 мм. Кількість виступів на кулачку відповідає числу циліндрів, а швидкість обертання валика вдвічі менше швидкості обертання колінчастого валу. Контакти виготовлені з тугоплавкого металу - вольфраму.

Розподільник складається з ротора з розносною пластиною 11, карболітової кришки 12 з вивідними бічними клемми 13 і центральної клеми 14 з контактною вуглиною і подавляючим опором, що зменшує перешкоди радіотрансляції. Всередині ротора є зріз, за допомогою якого він фіксується в певному положенні на кулачку й обертається разом з ним. У гніздо центрального затискача розподільника вставляють провід високої напруги котушки запалювання. Від бічних вивідних клем проводи приєднують до свічок запалювання в порядку роботи циліндрів двигуна по напрямку обертання ротора. Струм високої напруги, індуктований у вторинній обмотці котушки запалювання в момент розмикання контактів переривника, надходить через контактну вуглину на платівку ротора, а потім через повітряний проміжок на бічну вивідні клему і по дроту високої напруги на свічку запалювання. При подальшому розмиканні контактів ротор повернеться і розташується проти чергового бічними клемми і т. д.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 29

Свічка запалювання - це пристрій системи запалювання бензинового ДВЗ, що слугує для створення іскрового проміжку в колі високої напруги з метою запалювання робочої суміші в циліндрі двигуна. Вона складається із трьох основних компонентів: корпусу, електродів та ізолятора. Для герметизації свічки щодо центрального електрода використовують термоцемент або струмопровідний склогерметик. У сучасних свічках тепловий конус ізолятора виходить за торець нижньої частини корпусу, завдяки чому він краще охолоджується під час впуску холодної суміші і тепловий діапазон свічки розширюється. Для форсованих двигунів використовують свічки, центральний електрод яких виготовлено і покрито нікельхромовою, срібною чи платиною оболонкою.

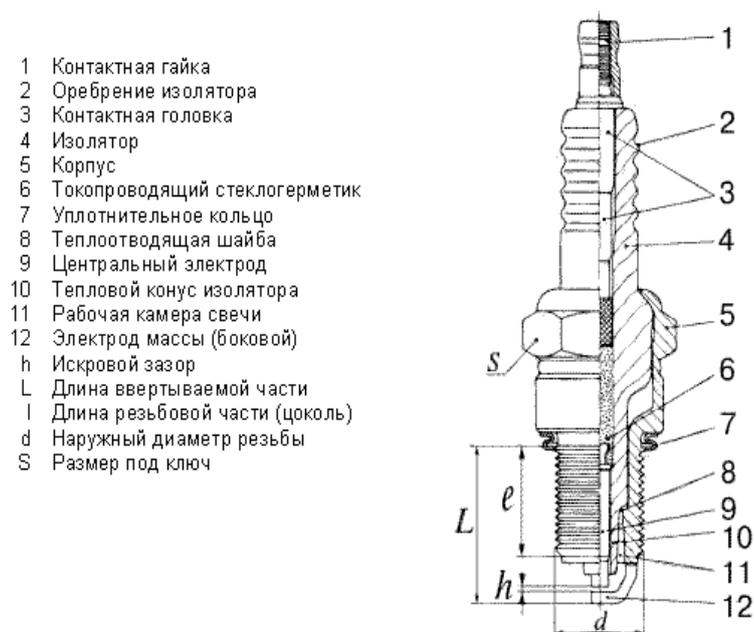


Рис.4. Свічка запалювання

Конденсатор - двополюсник з певним значенням ємності і малої омичний провідністю; пристрій для накопичення енергії електричного поля. Конденсатор є пасивним електронним компонентом. Зазвичай складається з двох електродів у формі пластин (обкладок), розділених діелектриком, товщина якого менша у порівнянні з розмірами обкладок.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 30

Безконтактна система запалювання

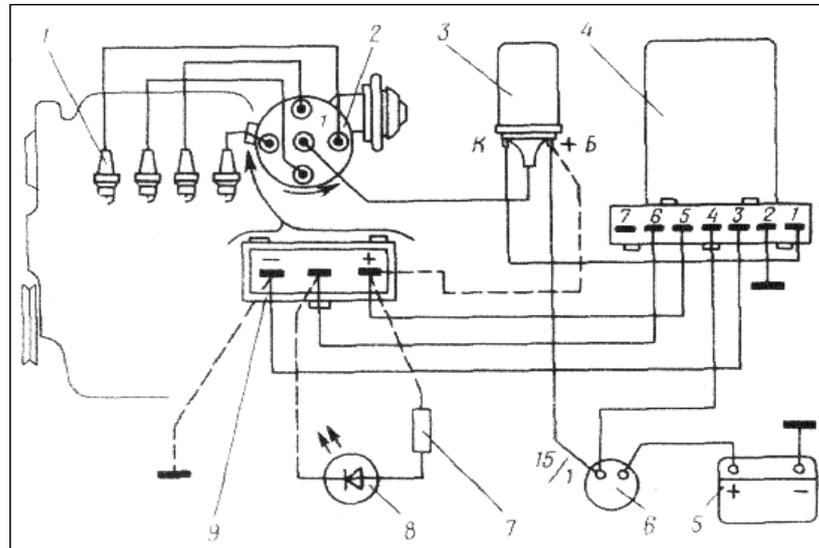


Рис. 5. Схема безконтактної системи запалювання:

1 - свічка запалювання; 2 - датчик-розподільник; 3 - котушка запалювання;
4 - комутатор; 5 - акумуляторна батарея; 6 - замок запалювання; 7 - резистор; 8 - світлодіод; 9 - клемна колодка на датчику – розподільнику

Принцип роботи безконтактної системи запалювання

При обертанні колінчастого валу двигуна датчик-розподільник формує імпульси напруги і передає їх на транзисторний комутатор. Комутатор створює імпульси струму в ланцюзі первинної обмотки котушки запалювання. У момент переривання струму індуктується струм високої напруги у вторинній обмотці котушки запалювання. Струм високої напруги подається на центральний контакт розподільника. Відповідно до порядку роботи циліндрів двигуна струм високої напруги подається по проводах високої напруги на свічки запалювання. Свічки запалювання здійснюють займання паливно-повітряної суміші. При збільшенні частоти обертання колінчастого валу регулювання кута випередження запалювання здійснюється відцентровим регулятором випередження запалювання.

Відцентровий регулятор випередження запалювання. Регулювання кута випередження запалювання залежно від частоти обертання колінчастого валу здійснюється автоматично відцентровим регулятором. Він складається з пластини, закріпленої на приводному валику, двох тягарців на осях пластини, пружин, що стягують тягарці, і планки кулачка. Кулачок з планкою вільно посаджений на вісь приводного вала. Штифти тягарців входять у прорізи планки кулачка. При обертанні приводного валика під дією відцентрової сили тягарці, які в нормальному стані стягнуті пружинами, починають розходитись і,

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 31

коли відцентрова сила досягне певної величини, вони, переборюючи опір пружини, розходяться і своїми штифтами повертають планку з кулачком у напрямі обертання, забезпечуючи більш раннє розмикання контактів і відповідно збільшуючи кут випередження запалювання. При зменшенні числа обертів зменшується і відцентрова сила, що діє на тягарці, пружина повертає їх у початкове положення, обертаючи при цьому планку з кулачком у бік зменшення кута випередження.

Залежність потужності, годинної та питомої витрат палива від кута випередження запалювання.

Максимальній потужності при заданому швидкісному і навантажувальному режимах відповідає певний оптимальний кут випередження запалювання. Регульовальні характеристики за кутом випередження запалювання, зняті при різних швидкісних і навантажувальних режимах, є частковими. Основну характеристику з установленого кута випередження запалювання знімають при номінальній частоті обертання колінчастого вала двигуна і повному відкритті дросельної заслінки карбюратора.

Підготовка двигуна. Для зняття регульовальної характеристики по становлено-му куті випередження запалювання, двигун оснащують пристроєм, що дозволяє змінювати і фіксувати момент подачі іскри.

Перед випробуванням двигуна відключають відцентровий і вакуумний регулятори випередження запалювання.

Зміна кута випередження запалювання забезпечують поворотом розподільника. Кріплення переривника-розподільника має забезпечити подачу іскри в межах від 10° після ВМТ і до $50 \dots 60^\circ$ до ВМТ (у кутах повороту колінчастого вала).

Значення оптимального кута випередження запалення в першу чергу залежить від якості бензину. Тому випробування слід проводити по сорту бензину, рекомендованому заводом-виробником. Перед початком випробувань двигун прогрівають до нормального теплового стану, встановлюють незмінне положення дросельної заслінки і постійну частоту обертання колінчастого вала.

Послідовність проведення дослідів.

Перший дослід проводять при пізньому куті випередження в межах від 0 до 10° після ВМТ. Кут випередження запалювання встановлюють вручну поворотом розподільника. Задану частоту обертання колінчастого вала

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 32

корегують навантаженням гальма. Після стабілізації режиму роботи двигуна фіксують зусилля по важелю гальма, частоту обертання валу гальма, витрата палива за дослід, тривалість досліду; температуру масла, охолоджуючої рідини, відпрацьованих газів. Результати заносять в журнал випробувань.

У другому досліді кут випередження запалювання збільшують на $5 \dots 8^\circ$ і зміною навантаження на гальмі відновлюють задану частоту обертання. У журнал випробувань заносять ті ж величини, що і в першому досліді. Третій і наступні досліді виконують аналогічно першому і другому, збільшуючи щоразу кут випередження запалювання на однакову величину.

Останній дослід проводять при куті випередження запалювання на $6 \dots 10^\circ$ більшому, ніж рекомендовано заводом-виробником для даного двигуна. Для отримання більшої вірогідності результатів випробувань після закінчення дослідів знімають характеристику в зворотньому порядку, зменшуючи кут випередження запалювання на однакову величину.

На підставі записів у протоколі випробувань проводять підрахунки і будують графічні залежності регульовальної характеристики за кутом випередження.

Аналіз регульовальної характеристики. Типова регульовальна характеристика по куту запалювання карбюраторного двигуна при повному відкритті дросельних заслінок, постійної частоти обертання наведена на рис.б. З цієї характеристики слідує, що часовий витрата палива залишається постійним. Це пояснюється тим, що регулювання карбюратора, положення дросельної заслінки і постійна частота обертання колінчастого вала не змінюються. На годинну витрату палива може впливати підігрів горючої суміші, однак він не значний.

Екстремальні значення афективної потужності і питомої витрати палива перебувають на одній лінії, проведеної перпендикулярно до осі абсцис. Максимальна потужність і мінімальна питома витрата палива в даному випадку відповідають куту 25° повороту колінчастого вала до ВМТ.

Зі збільшенням кута випередження запалювання згорання великої частини палива відбувається до приходу поршня у ВМТ в умовах зменшуються обсяги циліндра. Більш раннє запалювання викликає підвищення температури і тиску газів в процесі згорання, що може призвести до виникнення детонації, що викликає посилену тепловіддачу в охолоджувальну рідину. При передчасному займанні з'являється негативна робота стиснення, що призводить до зниження індикаторного ККД.

При більш пізньому куті випередження запалювання індикаторний та

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 33

механічний ККД досягають максимальних значень, при яких потужність теж досягає максимального значення.

Зі збільшенням частоти обертання колінчастого вала посилюються вихрові рухи суміші в камері згоряння. Однак поліпшення перемішування не компенсує скорочення часу згоряння і необхідне збільшення кута випередження запалювання.

Зниження навантаження при постійній частоті обертання колінчастого вала викликає необхідність збільшення оптимального кута випередження запалювання. Це пояснюється тим, що зі зменшенням навантаження і прикриттям дросельної заслінки знижується коефіцієнт наповнення. При цьому зростає відносна кількість залишкових газів, що викликають зниження швидкості згоряння. Кут випередження запалювання повинен бути більшим.

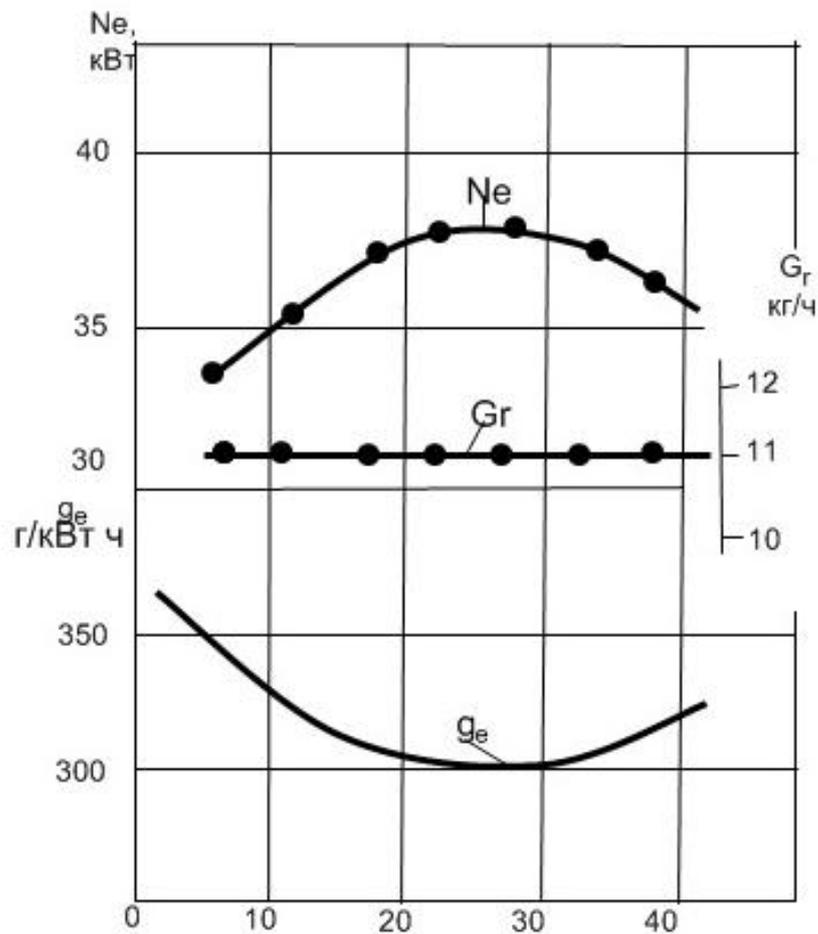


Рис.6. Залежність регульовальної характеристики за кутом випередження запалювання.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 34

Контактно-транзисторна система запалювання

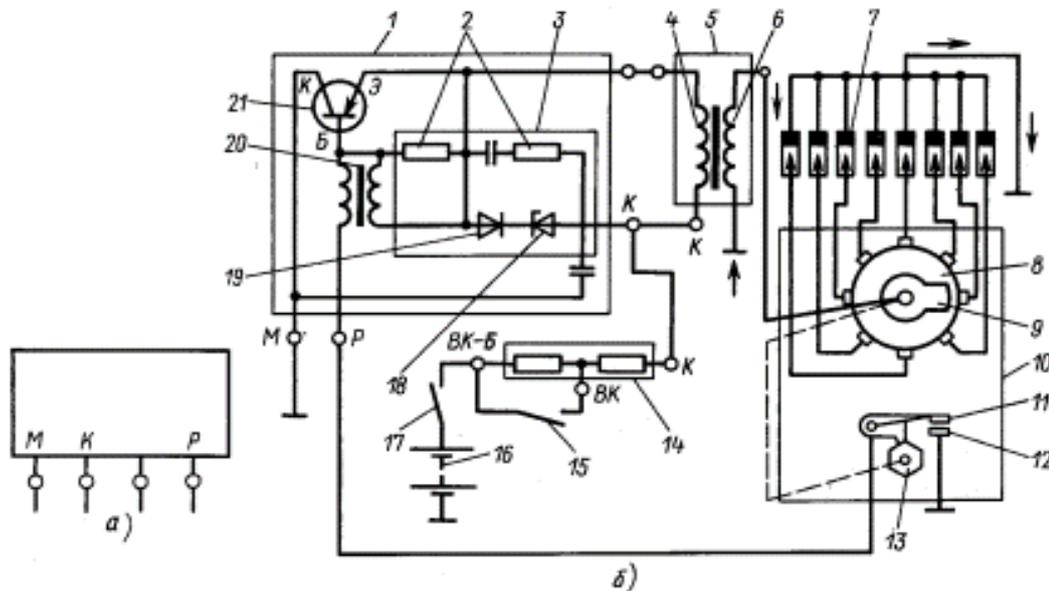


Рис.7. Схема контактно-транзисторної системи запалювання двигуна ЗІЛ-130 (стрілками вказана ланцюг високої напруги):

а - розташування виводів на транзисторному комутаторі;

б - загальна схема системи запалювання;

1 - транзисторний комутатор ТКІ02; 2 - резистори; 3 - блок захисту транзистора 4 - первинна обмотка; 5 - котушка запалювання; 6 - вторинна обмотка; 7 - свічки запалювання; 8 - кришка; 9 - ротор з електродом; 10 - розподільник запалювання; 11 - рухливий контакт; 12 - нерухомий контакт; 13 - кулачок запалювання; 14 - додаткові резистори І07; 15 - вимикач додаткового резистора; 16 - акумуляторна батарея; 17 - вимикач запалювання; 18 - стабілітрон; 19 - діод; 20 - імпульсний трансформатор; 21 - германієвий транзистор; К, Б і Е - електроди транзистора (відповідно колектор, база та емітер) включає елементів.

Робота контактно-транзисторної системи запалювання.

Якщо вимикач запалювання 17 включений, а контакти переривника розімкнені, то транзистор 21 замикає його, так як немає струму в його ланцюзі управління, тобто в переході емітер база. Струм не проходить і між емітером і колектором на масу, тому що опір цього переходу дуже велике. При замиканні контактів переривника в ланцюзі управління транзистора (емітер - база) проходить струм, в результаті транзистор відкривається. Сила струму управління невелика (близько 0,8 А) і зменшується до 0,3 А зі збільшенням частоти обертання кулачка переривника. У контактно-транзисторній системі

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 35

запалювання є два ланцюги низької напруги: ланцюг управління транзистора і ланцюг робочого струму.

Вплив регулювань системи запалювання на навколишнє середовище

Основна причина забруднення повітря полягає в неповному і нерівномірному згорянні палива. Всього 15% його витрачається на рух автомобіля, а 85% «летить на вітер». До того ж камери згорання автомобільного двигуна - це своєрідний хімічний реактор, що синтезує отруйні речовини і викидає їх в атмосферу. Навіть невинний азот з атмосфери, потрапляючи в камеру згорання, перетворюється на отруйні оксиди азоту.

У відпрацьованих газах двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) міститься понад 170 шкідливих компонентів, з них близько 160 - похідні вуглеводнів, прямо зобов'язані своєю появою неповного згорання палива у двигуні. Наявність у відпрацьованих газах шкідливих речовин обумовлено в кінцевому підсумку виглядом та умовами згорання палива.

Склад відпрацьованих газів залежить від роду застосовуваного палива, присадок і масел, режимів роботи двигуна, його технічного стану, умов руху автомобіля та ін. Токсичність відпрацьованих газів карбюраторних двигунів обумовлюється головним чином вмістом окису вуглецю та оксидів азоту.

Мала кількість кисню в горючій суміші, яка надходить в двигун, (яке сприяє неповному згорянню в циліндрах двигуна і, виходячи з цього, збільшення кількості чадного газу) впливає при неповному згорянні і на збільшення вуглеводневих сполук і кіптяви. Також цьому сприяє і пізні запалювання.

Результатом неповного згорання є те, що вихлопні гази містять більше або менше шкідливих сполук.

Процес згорання істотно залежить від складу горючої суміші. Загальна залежність (при найвигіднішому випередженні запалення) така: найбільша температура і тиск газів у камері згорання досягаються при злегка збагаченій суміші. Подальше її збагачення і збіднення знижує температуру.

Відхилення кута випередження запалення від оптимальної величини теж робить прямий вплив. Збільшення кута підвищує температуру усередині камери і може довести її до рівня, небезпечного для розташованих там деталей. При пізньому запаленні температура в камері знижується, але на випуску - зростає. Це, зокрема, посилює тепловий режим роботи випускного клапана.

Порядок виконання роботи:

1. Перевірити готовність механізмів і систем двигуна до роботи і запустити його, прогріти до робочої температури.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 36

2. Заглушити двигун і, викрутивши свічки запалювання, встановити в них номінальний зазор, поставити свічки на місце.
3. Запустити двигун і за допомогою тестера автомобільного і стробоскопа встановити номінальні значення кута випередження запалювання, кут замкненого стану контактів переривника.
4. Визначити витрату палива на протязі 5 хвилин.
5. Увімкнути вимірювальні пристрої і прилади.
6. Різко відкрити дросельну засувку карбюратора і, тримаючи її в гранично відкритому стані, зафіксувати зростання частоти обертання колінчастого вала двигуна в часі.
7. Повернути дросельну засувку до вихідного стану і зупинити двигун.
8. Визначити крутизну характеристики $n=f(t)$.
9. Запустити двигун і встановити кут випередження запалювання 20° .
10. Виконати дії по пп. 4-8 і заглушити двигун.
11. Запустити двигун і встановити кут випередження запалювання 40° .
12. Виконати дії по пп. 4-8 і заглушити двигун.
13. Запустити двигун і встановити кут замкненого стану контактів переривника, який відповідає зазору між ними в 0,3 мм.
14. Виконати дії по пп. 4-8 і заглушити двигун.
15. Запустити двигун і встановити кут замкненого стану контактів переривника, який відповідає зазору між ними в 0,5 мм.
16. Виконати дії по пп. 4-8 і заглушити двигун.
17. Встановити зазор між контактами свічок запалювання 0,4 мм, між контактами переривника – 0,4 мм.
19. Виконати дії по пп. 4-8 і заглушити двигун.
20. Довести регулювання приладів системи запалювання до номінальних значень.
21. Одержані дані за витратою палива і крутизною графіків функцій $n=f(t)$ представити у вигляді таблиці.
22. Провести аналіз отриманих результатів і зробити відповідні висновки.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 37

№ досліджу	Тривалість досліджу, хв	Кут випередження запалювання	Зазор між контактами переривника, мм	Витрата палива

Контрольні запитання

1. Як впливають регулювання приладів системи запалювання на паливну економічність двигуна?
2. Як впливають регулювання приладів системи запалювання на потужнісні характеристики двигуна та його прийомістість?
3. На які показники роботи системи запалювання і двигуна в цілому впливають відмічені регулювання?
4. Поясніть принцип дії стробоскопа і порядок його використання.
5. Що таке прийомістість двигуна і на які експлуатаційні показники роботи автомобіля вона впливає?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 38

Лабораторна робота № 5

Визначення годинної та питомої годинної витрати палива карбюраторного двигуна

Мета роботи: одержати практичні навички визначення годинної та питомої витрати палива карбюраторного двигуна ваговим методом.

Обладнання: двигун автомобіля; терези цифрові; мірний бачок на тензовимірювальному підвісі; лійка для заливання палива; секундомір; набір інструментів.

Теоретичні відомості

Переважає більшість витратомірів використовуються для визначення витрат рідин, значно менше існує видів конструкцій для вимірювання потоків газу. Оскільки система вимірювання витрати зазвичай показує миттєве значення витрати, то для визначення кількості рідини, що пройшла трубопроводом за певний відтинок часу, необхідно, витратомір об'єднати з лічильником. Таким чином, загальний об'єм речовини, що пройшов через витратомір, визначається інтегруванням по часу миттєвих значень витрати у послідовні моменти.

Класифікація витратомірів

Прилади для вимірювання витрати за фізичними принципами можна розділити на чотири основні групи, котрі спираються на: принципи механічної дії; хвильові явища; використання електро-магнітного поля (на основі законів електромагнітної індукції); фіксації місця перебування попередньо внесеної у потік мітки (міткові витратоміри).

Витратоміри механічної дії

Витратоміри, принцип роботи яких базується на законах механіки бувають:

- манометричні витратоміри (на основі вимірювання змінного перепаду тиску), що перетворюють швидкісний напір у перепад тиску, які у свою чергу поділяються на:
 - ✓ витратоміри на основі звужуючих пристроїв (діафрагми, сопла, сопла Вентурі чи труби Вентурі);
 - ✓ витратоміри на основі гідравлічних опорів (з кривиною потоку, капілярними або пористими перегородками);

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 39

- ✓ відцентрові витратоміри;
- ✓ струминні витратоміри;
- витратоміри обтікання (витратоміри зі змінною площею), які поділяються на:
 - ✓ витратоміри постійного перепаду тиску (ротаметри, по-плавкові та поршневі витратоміри), принцип роботи яких базується на залежності від витрати речовини вертикального переміщення тіла (поплавка, поршня), яке змінює при цьому площину перерізу прохідного отвору приладу таким чином, щоб перепад тисків по обидва боки цього тіла залишався сталим;
 - ✓ витратоміри змінного перепаду тиску (поплавково-пружинні, з поворотною лопаттю), у яких переміщення тіла обтікання характеризує величину тиску чи зусилля, прикладеного до нього, що зрівноважує зусилля від динамічного тиску потоку на тіло, що характеризує витрату;
- витратоміри змінного рівня, принцип роботи яких базується на відомій залежності витрати рідини через отвір витоку, розташований у дні посудини, від рівня рідини у посудині.
- тахометричні витратоміри — турбінного (з аксіальною і тангенціальною турбіною) типу і об'ємні (шестеренчасті);
- осцилюючі витратоміри — вихрового типу (принцип вимірювання ґрунтується на підрахунку вихрових доріжок Кармана) та витратоміри, що використовують ефект Коанда;
- інерційні, що базуються на інерційній взаємодії маси рідини, яка рухається з лінійним чи кутовим прискоренням (витратомір Коріоліса, гіроскопічний витратомір).

Витратоміри на основі хвильових явищ

Витратоміри, принцип роботи яких базується на використанні хвильових явищ бувають:

- ультразвукові (акустичні) — ґрунтуються на ефекті захоплення звукових коливань середовищем, що рухається (ефект фазового зсуву, ефект Доплера або явище зносу ультразвукового сигналу);

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 40

- оптичні — використовують ефект захоплення лазерного променя рухомим оптично прозорим середовищем (ефект Фізо-Френеля чи ефект Доплера).

Електромагнітні витратоміри

Електромагнітні витратоміри використовуються для вимірювання витрати струмопровідних рідин. Принцип їх дії базується на законах електромагнітної індукції Фарадея і Генрі. Коли провідник або в даному випадку електропровідна рідина перетинає лінії магнітного потоку, то в електропровідному матеріалі індукується електрорушійна сила, пропорційна до швидкості її руху.

Міткові витратоміри

Міткові витратоміри, що ґрунтуються на вимірі швидкості або стані мітки при проходженні її між двома фіксованими перетинами потоку. До них належать такі витратоміри:

- теплові (калориметричні, термоанемометричні) — принцип вимірювання базується на ефекті переносу тепла від нагрітого тіла рухомим середовищем;
- іонізаційні;
- електромагнітні;
- концентраційні;
- турбулентні та ін.

Прямий метод вимірювання

Лічильник-витратомір встановлюється після фільтру тонкої очистки. Паливний насос низького тиску подає паливо з баку через фільтр грубої очистки на фільтр тонкої очистки, після чого паливо під тиском подається через лічильник-витратомір в паливний насос високого тиску. Надлишок палива скидається в бак через перепускний клапан, що встановлений на фільтрі тонкої очистки перед лічильником, і тому не враховується ним. Всі з'єднання на лічильнику палива та після нього пломбуються одноразовими пломбами з унікальним номером.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 41

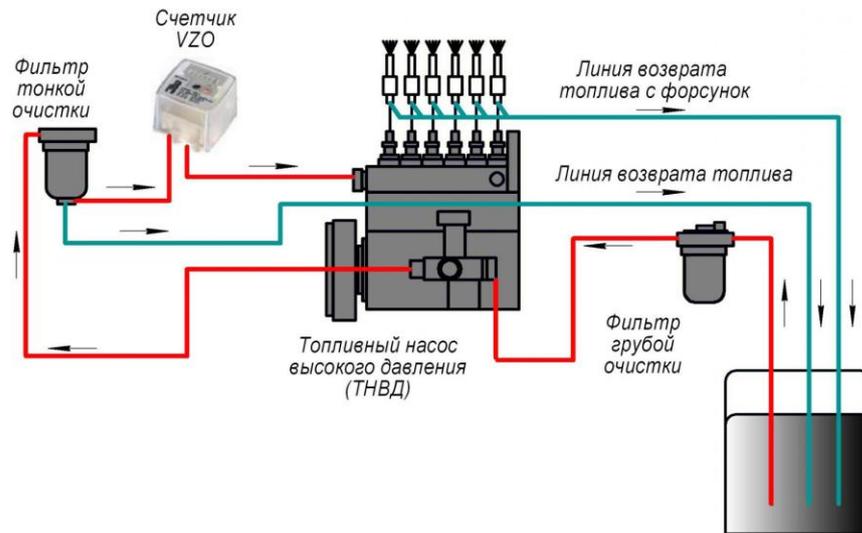


Рис 1. Схема установки для прямого вимірювання витрати палива

За такої схемі підключення похибка вимірювань відповідає похибці лічильника і не перевищує 1%. Додаткову похибку може внести "зворотній потік з форсунок", яка в більшості випадків становить біля 1% від загальних витрат пального. На деяких двигунах є можливість "зворотній потік з форсунок" "закільцювати" на вході ПНВД.

Диференційний метод вимірювання

У системах з насосом-форсункою або Common-Rail може бути встановлений диференційний витратомір палива, який враховує прямий («подача») та зворотній потоки палива. Різниця між обома потоками (спожите паливо) розраховується бортовим комп'ютером, наприклад DFM BC, або бортовим контролером системи GPS-моніторингу.

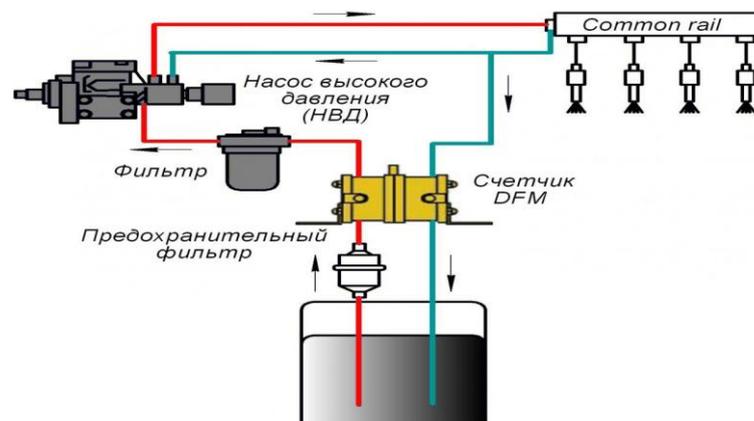


Рис 1. Схема установки для диференційного вимірювання витрати палива

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 42

При випробуваннях автомобіля для вимірювання витрати палива використовують два методи: об'ємний і ваговий. Ваговий метод застосовують при лабораторних випробуваннях. При цьому методі вимірюється час витрати деякої кількості палива, обумовленого зважуванням. У автоматичних пристроях виміри витрати палива ваговим методом визначаються електронним секундоміром за допомогою фотоелектричних перетворювачів, що контролюють положення ваг. Заповнення приладу і керування витратою палива проводяться електромагнітними клапанами. При використанні цього методу на результатах вимірів не позначаються похибки, пов'язані зі зміною щільності палива при зміні температури.

Об'ємні методи більш різноманітні і знаходять застосування як у стендових, так і в дорожніх випробуваннях. Найпростіше можна виміряти витрату відкритим мірним циліндром або іншою ємністю, наприклад, сферичної форми. У дорожніх умовах на ділянці виміру двигун працює на паливі, що надходить із мірної ємності. Витрачений обсяг палива визначають по шкалі мірного циліндра або по числу сферичних ємностей.

Іноді застосовують закриті мірні ємності, тиск у яких відповідає тиску палива, що розвивається бензонасосом. При використанні мірних ємностей похибка виміру може бути пов'язана з початковим заповненням трубопроводів і поплавкової камери в момент запуску. Універсальними приладами для виміру витрати палива малими дозами є витратоміри або паливоміри. Мірні камери цих пристроїв поперемінно наповняють паливом, яке потім надходить у систему живлення двигуна.



Рис.3. Загальний вид дослідної установки

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 43



Рис.4. Система для визначення витрати палива ваговим методом

ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Для визначення економічних показників роботи двигуна кожний випробувальний пристрій забезпечується пристосуванням для вимірювання витрати палива. Найбільш поширено використовую-ються для вимірювання витрати палива два способи: об'ємний і ваговий.

Ваговий спосіб визначення витрати пального полягає в зважуванні його на вазі.

На шальці ваги встановлюється мірний бачок. Вагу разом з ним розташовують вище карбюратора. Вимірювання витрати палива ваговим способом полягає в наступному:

- 1) до початку досліду показання на шкалі ваги записуються;
- 2) після сигналу “початок досліду” поворотом трьохходового крану переводять двигун на живлення з мірного бачка і включають секундомір;
- 3) в момент закінчення досліду, після витрачання заданої дози пального, встановлюють трьохходовий кран в положення, при якому живлення двигуна здійснюється з паливного баку;
- 4) записують в протокол випробувань дозу палива і час її витрачання.

Годинну витрату палива визначають за такою формулою, кг/год.:

$$G_t = 3,6 \Delta G / t$$

де: ΔG —доза палива, витрачена за дослід, г;

t —час витрачання дози палива ΔG , с.

Якщо застосовується об'ємний спосіб, під час вимірювання паливо в двигун поступає з мірних посудин, об'єми яких витарувані. Визначивши час витрачання визначеного об'єму палива, годинну витрату палива визначають за такою формулою, кг/год.:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 44

$$G_r = V_{п} \cdot \rho_{п} \cdot 3,6 / t$$

де: $V_{п}$ – вимірюваний об'єм, мл;

$\rho_{п}$ – густина палива;

t – час витрачання вимірюваного об'єму палива, с.

Візуальний огляд і перевірка комплектності двигуна

1. Оглянути двигун зовні. Перевірити його комплектність.
2. Перевірити кріплення навісного обладнання двигуна.
3. Перевірити герметичність систем охолодження і мащення по наявності підтікань.
4. Перевірити рівень охолоджуючої рідини. По необхідності довести її до норми.
5. Перевірити рівень оливи в картері двигуна. За необхідності довести його до норми.
6. Перевірити цілісність та правильність встановлення приладів системи запалювання та електрообладнання.

Контрольні питання

1. Показники паливної економічності двигуна і автомобіля.
2. Класифікація витратомірів палива і методів визначення годинної, питомої годинної витрати палива.
3. Навести схему установки для визначення годинної витрати палива ваговим і об'ємним методами.
4. Описати методику для визначення годинної витрати палива ваговим і об'ємним методами.
5. Навести графіки залежності годинної витрати палива від частоти обертання колінчастого валу і завантаженості двигуна.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 45

Лабораторна робота №6

Визначення моментів інерції мас кривошипно-шатунного і газорозподільного механізмів, що обертаються.

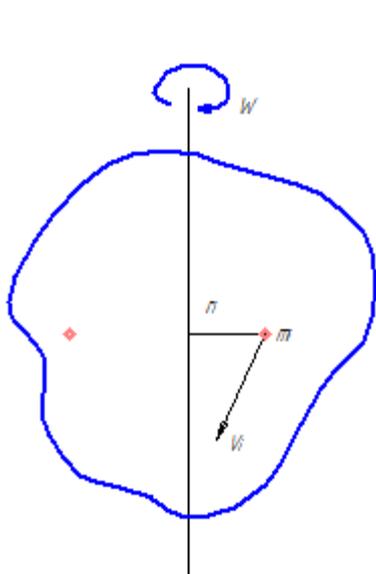
Мета: Ознайомлення з методами визначення моментів інерції мас що обертаються і експериментальне визначення моментів інерції колінчастого вала, маховика і розподільного вала двигуна внутрішнього згорання.

Обладнання: Колінчастий вал, маховик, газорозподільний вал ДВЗ, секундо мір (таймер), рулетка, приладдя для визначення моментів інерції тіл, що обертаються, методом трифілярного підвішування, терези.

Теоретичні відомості.

При вирішенні задач динамічного врівноваження двигунів внутрішнього згорання необхідно враховувати певні параметри їх складових, такі як значення мас, положення центру мас та осьові моменти інерції. Момент інерції є мірою інертності при обертотому русі тіл, він враховує величину маси тіла та її розподіл відносно осі обертання.

З курсу теорії механізмів і машин відомо, що момент інерції тіла відносно осі обертання, може бути визначений як суми \underline{m}_i кожної елементарної частинки тіла на квадрат відстані \underline{r}_i її від осі обертання:



$$I = \sum_{i=1}^{i=n} m_i r_i^2$$

Для точного визначення моменту інерції його представляють як границю суми нескінченно великого числа добутоків елементів маси \underline{dm} на квадрат їх відстаней від осі обертання:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 46

$$I = \int_0^m r^2 dm, \quad \text{кг} \cdot \text{м}^2$$

Визначення осьового моменту інерції можливе, якщо відомі маса деталі та її розподіл відносно осі обертання. Моменти інерції тіл правильної форми можуть бути визначені аналітичним методом. Так, наприклад, момент інерції опорного диску пристосування, що має форму диску з отвором посередині, визначають за відомою формулою:

$$I_0 = \frac{1 G_0}{2 g} \left(\frac{d^2 - d_0^2}{4} \right)$$

де: G – вага диску;
 g – прискорення вільного падіння;
 d – зовнішній діаметр диску;
 d_0 – діаметр центрального отвору.

Момент інерції складного тіла дорівнює сумі окремих частин відносно тієї ж осі обертання. Визначення моменту інерції таких тіл, як, наприклад, колінчастий вал, що має складну форму та ще й канали всередині, доволі трудомісткий, якщо використовувати аналітичний метод. Тому осьовий момент інерції деталей складної форми доцільно визначити експериментальними методами:

- метод крутильних коливань при уніфілярному підвішуванні;
- метод фізичного маятника;
- метод біфілярного (підвішування на двох нитках), мультифілярного (підвішування на трьох і більше нитках).

Триниткове підвішування, що використане в даній лабораторній роботі, зветься трифілярном.

Пристосування для визначення моменту інерції тіл, що обертаються, методом біфілярного підвішування (триниткового) представлено на рис.1.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 47

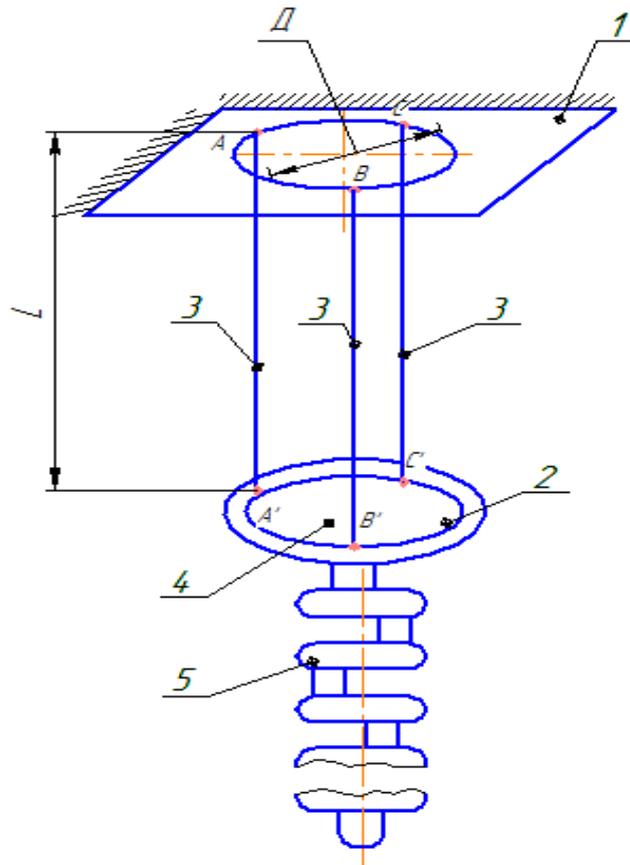


Рис. 1. Пристосування для визначення моменту інерції методом трифілярного підвішування.

- 1 – верхнє місце кріплення;
- 2 – опорний диск;
- 3 – нитки підвішування;
- 4 – кріплення деталі;
- 5 – деталь, момент інерції якої визначається.

Зазначене пристосування має наступну конструкцію: верхнє місце кріплення встановлене на масивній підтримуючій конструкції і з'єднується з опорним диском за допомогою трьох ниток, що закріплені відповідно в точках **AA'**, **BB'**, **CC'** і зафіксованих від поздовжнього переміщення в отворах дисків; опорний диск має в центрі отвір для кріплення деталі, момент інерції якої необхідно визначити. Геометричні розміри пристосування: довжина ниток (відстань між верхнім і опорним дисками) – l , м; діаметр кола, на якому виконані отвори для кріплення ниток – D , м; діаметр опорного диску 2 – $d = \underline{\hspace{1cm}}$ м; діаметр центрального отвору в опорному диску 2 для кріплення деталі – $d' = \underline{\hspace{1cm}}$ м; товщинна опорного диску 2, виготовленого зі сталі – $\delta = \underline{\hspace{1cm}}$ мм.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 48

Для визначення моменту інерції деталі **5** кріпиться до опорного диску **2** таким чином, щоб її вісь обертання співпадала з вертикальною віссю пристосування. Після виведення тіла з положення рівноваги відносно вертикальної осі повертанням на кут α система почне здійснювати коливання. Позначимо вагу деталі **5** через G_d , її момент інерції відносно вертикальної осі через I_d ; вагу опорного диску **2** – через G_0 , момент інерції опорного диску **2** відносно вертикальної осі через I_0 .

Тоді вага всієї системи дорівнює:

$$G = G_0 + G_d ,$$

а момент інерції всієї системи відносно осі z:

$$I = I_0 + I_d ,$$

Значення G_0 і G_d визначаємо зважуванням відповідних деталей на терезах: Момент інерції опорного диску **2** визначаємо аналітичним методом за формулою:

$$I_0 = \frac{1}{2} \frac{G_0}{g} \left(\frac{d^2 - d_0^2}{4} \right), \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

де: d – зовнішній діаметр опорного диску **2** ($d = \underline{\hspace{1cm}}$ мм)

d_0 – діаметр внутрішнього отвору в диску **2** ($d_0 = \underline{\hspace{1cm}}$ мм)

δ – товщина опорного диску **2** ($\delta = \underline{\hspace{1cm}}$ мм)

$\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$

Момент інерції всієї системи, що здійснює крутильні коливання навколо вертикальної осі, визначаємо з диференційного рівняння коливань; що має вигляд:

$$I = \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = -\text{tg} \varphi \cdot a \frac{\alpha}{2},$$

де: α – кут закручування опорного диску;

φ – кут відхилення нитки підвісу від вертикалі;

$d = (D/2)$ – радіус кола, на якому закріплені в дисках нитки;

t – час

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 49

В зв'язку з малістю кутів φ та α , без суттєвого впливу на точність, можна прийняти наступне: $\text{tg } \varphi \approx \varphi$; $\cos \bar{\alpha} \approx 1$; $l \varphi \approx a \alpha$

З урахуванням останнього і при вираженні

$$\varphi = \frac{a}{l} \alpha,$$

отримуємо:

$$I \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = \frac{G \cdot a}{l} \alpha,$$

або

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \frac{G \cdot d^2}{I \cdot l} \alpha = 0,$$

Позначимо

$$\frac{G \cdot d^2}{I \cdot l} = k^2,$$

Тоді

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} + k^2 \alpha = 0,$$

з чого видно, що система здійснює гармонійні коливання відносно вертикальної осі.

Тоді період T_1 повного коливання системи:

$$T_1 = \frac{2\pi}{k} = 2\pi \sqrt{\frac{I \cdot l}{G \cdot d^2}} = ?$$

звідки момент інерції деталі разом з опорним диском 2:

$$I = G \frac{d^2 T^2}{l 4\pi^2} = \frac{d}{4\pi^2 l} m_g g T^2,$$

Момент інерції деталі дорівнює:

$$I_g = I - I_0,$$

Складові формули для визначення моменту I визначаються: a , l – вимірюванням лінійних розмірів; G – зважуванням; T – спостереженням.

Точність визначення моменту інерції методом біфілярного підвішування

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 50

залежить від точності визначення складових. Для забезпечення достатньої точності при проведенні дослідів початковий кут відхилення з положення рівноваги при закручуванні необхідно встановлювати $\alpha \leq 10^\circ$.

Порядок виконання роботи:

1. Визначити маси:
 - колінчастого валу;
 - маховика;
 - розподільного валу з шестернею привода.
2. Визначити масу опорного диску 2 розрахунковим шляхом і зважуванням на терезах (порівняти результати).
3. Виміряти довжину ниток та радіус кола на якому вони закріплені на опорному диску 2.
4. Закріпити колінчастий вал на опорному диску 2 так, щоб центр її ваги співпав з віссю симетрії пристосування.
5. Повернути колінчастий вал з опорним диском 2 навколо вертикальної вісі на кут не більше 10° і надати їм можливість здійснювати вільні крутильні коливання. При цьому гойдання системи відносно горизонтальних осей не допускається.
6. Заміряти час t_1 50-ти повних коливань колінчастого валу з опорним диском 2 та визначити середнє значення $T_{1\text{сер}}$ одного періоду коливань, сек.
7. Двічі повторити дії за п.п.5,6.
8. Визначити середнє значення (з трьох замірів) одного періоду коливань, сек.
9. Зняти колінчастий вал з опорного диску 2.
10. Прикріпити маховик до опорного диску 2.
11. Повторити дії п.п. 5-8 і визначити середнє значення 1 періоду коливань опорного диску з маховиком $T_{\text{мах}}$.
12. Зняти маховик з опорного диску 2.
13. Прикріпити розподільний вал з шестернею привода до опорного диску 2.
14. Повторити дії п.п. 5-8 і визначити середнє значення 1 періоду коливань опорного диску з розподільним валом $T_{\text{рв}}$.
15. Зняти розподільний вал з опорного диску 2.
16. Повторити дії п.п. 5-8 і визначити середнє значення 1 періоду коливань опорного диску 2.
17. Визначити сумарні моменти інерції опорного диску 2 з:
 - колінчастим валом;
 - маховиком;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 51

- розподільним валом з шестернею приводу.

18. Обчислити значення моменту інерції опорного диску 2 за розрахунковою формулою для диску з отвором.

19. Визначити момент інерції опорного диску 2 за результатами експерименту і порівняти його величину з отриманим розрахунковим методом за п. 18.

20. Результати вимірювань і розрахунків занести до таблиці.

Контрольні питання:

1. Дайте визначення осьовому моменту інерції тіла відносно осі обертання.
2. Перелічити і пояснити методи визначення моменту інерції тіла.
3. Поясніть переваги і недоліки аналітичного і експериментального визначення моменту інерції тіла.
4. Нарисувати схему пристосування для визначення моменту інерції тіла при використанні трифіляру

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 52

Лабораторна робота № 7

Визначення впливу параметрів газообміну на показники роботи поршневого ДВЗ

Мета: дослідити вплив тиску випускній систем на експлуатаційні характеристики ДВЗ.

Обладнання: двигун M10 BMW, витратомір рідини, пірометр лазерний GM300 (-50 +380°C), термометри 0-150 °C (два), витратомір палива, ваги, датчик Хола, датчик тиску (розрідження); пристрої для створення наддуву та розрідження.

Параметри що змінюються: тиск наддуву; розрідження у системі випуску; режими роботи двигуна (холостий хід, середні оберти: 0,8 від максимальних обертів колінчастого валу).

Теоретичні відомості

У теплових двигунах процеси згоряння палива, виділення теплоти й перетворення її в механічну енергію відбуваються безпосередньо у середині двигуна. Перетворення теплової енергії в механічну роботу в чотиритактному ДВЗ супроводжується такими періодичними (циклічними) процесами:

- впуск свіжого заряду;
- стискання робочого тіла поршнем в циліндрі двигуна;
- згоряння робочої суміші й розширення продуктів згоряння – робочий хід, під час якого здійснюється корисна робота;
- впуск відпрацьованих газів.

Отже, підвищення основних показників ДВЗ, включаючи потужність і економічність, полягає у покращенні основних процесів двигуна, зокрема процесу газообміну, який складається із впуску свіжого заряду та впуску відпрацьованих газів.

В сучасному автомобілі на систему випуску відпрацьованих газів (ВГ) покладається декілька важливих функцій:

- глушення шуму при випуску ВГ до рівня, що не перевищує встановлених санітарних норм;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 53

- зменшення кількості токсичних компонентів в ВГ до значень, що не перевищують гранично допустимих концентрацій;
- якісне очищення і продування циліндрів двигуна;
- мінімальні втрати енергії ВГ на шляху від випускних клапанів;

Зменшення опору випускної системи викликає зниження тиску в циліндрах двигуна в період випуску й призводить:

- до зменшення коефіцієнта залишкових газів γ ;
- до зниження температури кінця наповнення T_a через зменшення γ ;
- до зменшення роботи, затраченої на видалення газів із циліндра двигуна;
- до збільшення вагового заряду повітря.

За рахунок опору у випускній системі двигуна втрачається до 12% потужності. Таким чином при зміні параметрів процесу випуску можна значно покращити ефективність роботи двигуна. На даний час дана задача вирішується зміною конструкції випускної системи (встановлення прямоточних глушників) та зміною характеристик процесів газообміну. В першому випадку змінюється опір випускної системи, а, отже, і тиск наприкінці процесу випуску. Проте це призводить до збільшення шумності роботи двигуна, а, отже, зміна опору випускної системи можлива лише в певному, вузькому діапазоні, що обумовлено необхідністю забезпечення нормативних значень шумності.

Процес газообміну в двигуні, головним чином, залежить від співвідношення параметрів газів у циліндрі та випускній трубі в процесі їхнього витікання. На початковій стадії випуску тиск газів у циліндрі є надкритичним, тому швидкість їх витікання дорівнює місцевій швидкості звуку. При наближенні поршня до НМТ витікання газів переходить у докритичний режим і далі гази виштовхуються поршнем. На цій ділянці газообміну протитиск газів у випускній трубі спричиняє підвищення тиску залишкових газів у циліндрі, що призводить до їхнього збільшення й затримки початку наповнення циліндра свіжою сумішшю, а отже зниженню ефективних показників двигуна. Окрім того, на виштовхування газів витрачається механічна робота, що знижує механічний ККД двигуна

1.4. Процес газообміну в дійсному циклі

У чотиритактних двигунах початком процесу газообміну служить відкриття випускного клапана з випередженням до н.м.т. У цей момент тиск газів в циліндрі буде 0,3-0,8 МПа/м² (3-8 кгс/см²) і температура 1000-1500 ° К.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 54

У перший період випуску під дією високого тиску відбувається витікання газів з циліндра. Процес витікання можна розглядати як адіабатний. Закінчується цей період після того, як поршень пройде н.м.т. і тиск в циліндрі зменшиться до величини, близької до тиску навколишнього середовища.

Велика частина газів (60-80%) видаляється з циліндра в результаті вільного витікання під час першого періоду випуску .

Під час другого періоду випуску продукти згоряння виштовхуються поршнем. У циліндрі встановлюється приблизно постійний тиск більший, ніж тиск у випускному трубопроводі. Різниця цих тисків залежить від опору руху газів в клапанах і головним чином від швидкості газів. Температура газів протягом другого періоду випуску знижується приблизно на $10-30^{\circ}$ внаслідок відводу теплоти в охолоджуюче середовище.

Фазу початку відкриття випускного клапана слід вибирати так, щоб сума втрат від неповного розширення газів і на подолання гідравлічних опорів при виштовхуванні була найменшою.

Наприкінці ходу випуску починає відкриватися впускний клапан.

Вплив параметрів процесу випуску на газообмін

Потрібно, щоб випуск відбувався з найменшими втратами на його здійснення. Для цього в перший момент випуску відпрацьовані гази повинні витікати із найбільшою швидкістю. Тому випускний клапан починає відкриватися за $40...80^{\circ}$ п.к.в. до в.м.т. (рис. 1. точка 3). Момент відкриття випускного клапана вибирають експериментально, щоб забезпечити найменшу втрату корисної площі індикаторної діаграми порівняно з розрахунковою (нескругленою).

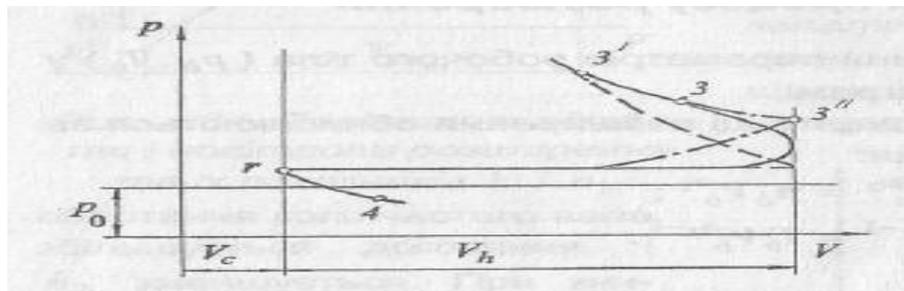


Рис1. Вплив моменту відкриття випускного клапана на індикаторну діаграму

3'-клапан відкривається рано

3''-клапан відкривається пізно

3- нормальний момент відкриття клапана

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 55

4-закриття випускного клапана

На рис.1 показано вплив моменту відкриття клапана на повноту індикаторної діаграми в ділянці початку випуску. Видно, що перевагу має оптимальний момент відкриття клапана.

Закривається випускний клапан через 15...60° п.к.в. після в.м.т. (рис. 1. точка 4) для підвищення якості очищення циліндра за рахунок продування у період перекриття клапанів.

Розрізняють три стадії випуску :

1. Надкритична ділянка витікання. Тиск відпрацьованих газів у циліндрі ще високий. Швидкість витікання стала й дорівнює швидкості звуку у відпрацьованих газах (порядку 500...700 м/с) у залежності від температури газів.

2. Підкритична ділянка витікання. Швидкість витікання газів поступово зменшується в міру зниження тиску в циліндрі.

3. Виштовхування газів поршнем. Швидкість витікання визначається швидкістю поршня.

Зі збільшенням міри стиску ϵ , температури залишкових газів T_r і використання наддуву значення коефіцієнта γ_r зменшується, а при збільшенні тиску залишкових газів p_r і частоти обертання колінчастого вала γ_r зростає:

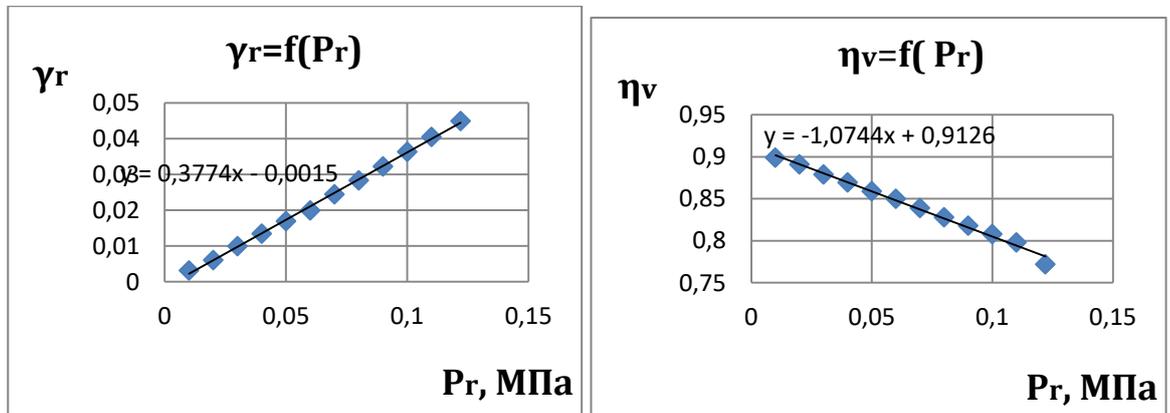


Рис.2. Залежність коефіцієнта залишкових газів γ_r і коефіцієнту наповнення η_v від тиску відпрацьованих газів P_r .

Залежність (рис.2) підтверджує, що зі збільшенням тиску залишкових газів зростає коефіцієнт залишкових газів.

Значення коефіцієнта наповнювання зростає зі збільшенням тиску в кінці випуску і знижується з наростанням тиску випуску і температури підігріву горючої суміші.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 56

З даної залежності (рис.2) видно, що при збільшенні коефіцієнта наповнення, тиск залишкових газів зменшується.

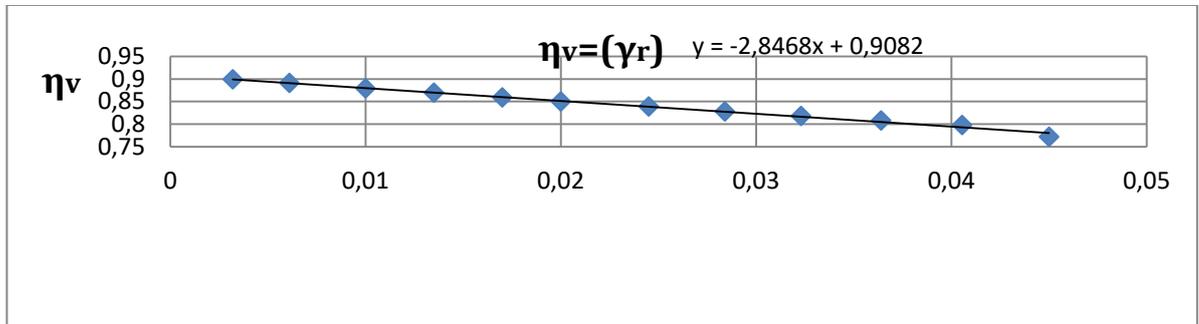


Рис.3. Залежність коефіцієнту η_v від коефіцієнту γ_r .

Залежність (рис.3) показує, що при збільшенні коефіцієнта наповнення, коефіцієнт залишкових газів зменшується.

Аналіз свідчить, що на коефіцієнт наповнення η_v головним чином впливають підігрів заряду, тиск в кінці впуску, параметри залишкових газів P_r , T_r .

Величина p_i для поршневих двигунів змінюється в межах :

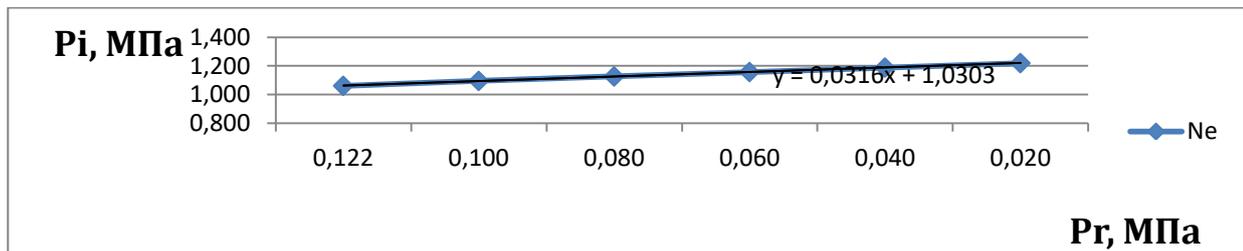


Рис.3. Залежність індикаторного тиску P_i , від тиску залишкових газів P_r

Графік (рис.3) показує, що при зниженні тиску залишкових газів індикаторний тиск зростає.

За результатами розрахунків побудовані згорнуті індикаторні діаграми та діаграми газообміну (рис. 4 – 5). Аналіз діаграм підтверджує попередні розрахунки індикаторних показників. При створенні розрідження $P_r = 0,06$ МПа ми спостерігаємо підвищення індикаторної роботи на 10% та суттєве зменшення механічних втрат на газообмін (рис. 4)

При використанні наддуву (рис. 5) також спостерігається підвищення індикаторного тиску та корисної роботи на 10% в порівнянні з атмосферним двигуном. Але якщо порівнювати режим з наддувом з режимом розрідження, бачимо підвищення втрат на газообмін на 6%.

Використання наддуву разом з розрідженням у випускній системі показує остання індикаторна діаграма (рис5). Ми бачимо підвищення індикаторної роботи в

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 57

порівнянні з атмосферним двигуном (рис. 2.4) на 16%, а також зменшення втрат на газообмін, що складають 18%.

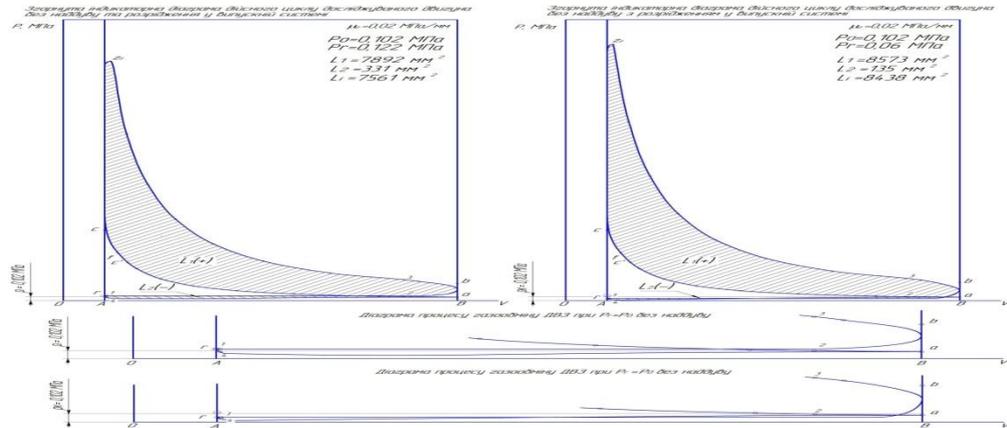


Рис. 4. Згорнуті індикаторні діаграми та діаграми газообміну дійсного циклу досліджуваного двигуна $P_o = 0,102$ МПа при $P_k > P_o$ та $P_k < P_o$.

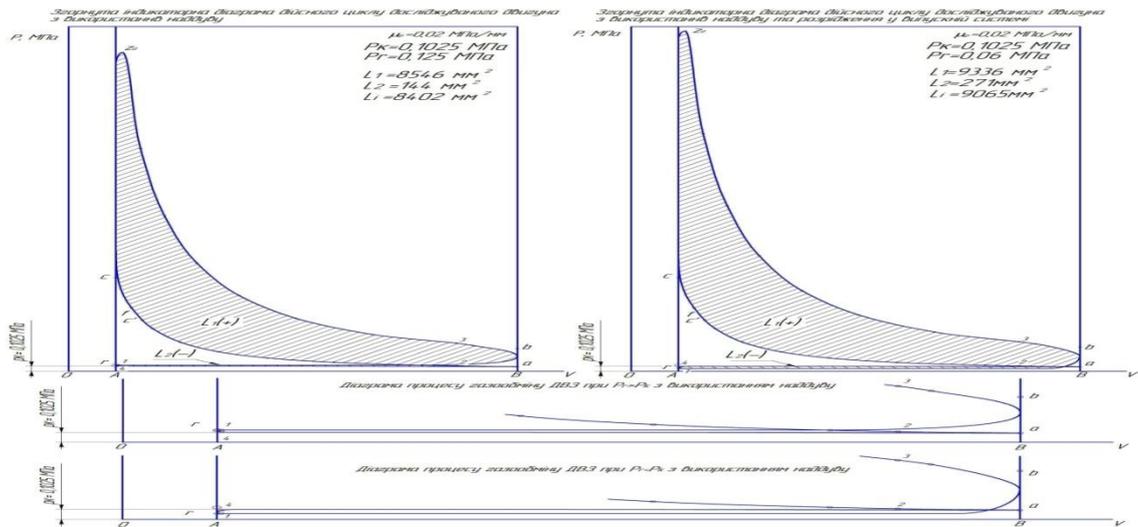


Рис. 5. Згорнуті індикаторні діаграми та діаграми газообміну дійсного циклу досліджуваного двигуна $P_k = 0,1025$ МПа при $P_k > P_o$ та $P_k < P_o$.

Дослідна установка

Випробування двигунів проводять на спеціальних стендах. Стенд має пристосування для установки і закріплення на ньому двигуна (рис.6), пристрій, що призначений для поглинання потужності, що розвивається двигуном, пристосування для живлення двигуна, його охолодження, відводу відпрацьованих газів і органи керування двигуном. Крім того, стенд обладнується вимірювальними приладами та додатковим обладнанням.

Експериментальний комплекс складається з:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 58

- рами для розміщення вузлів та агрегатів;
- двигуна;
- зчеплення;
- коробки передач;
- пристрою для навантаження;
- системи наддуву;
- випускної системи;
- системи відбору відпрацьованих газів;
- пульта керування;
- системи живлення;
- іншого обладнання;



Рис.6. Загальний вигляд двигуна автомобіля «BMW 316»

Система випуску відпрацьованих газів

Відпрацьовані і картерні гази містять шкідливі для здоров'я людини речовини і повинні бути цілком відведені за межі приміщення, де знаходиться дослідна установка. Гази відводяться через загальний для всієї дослідної установки колектор, до якого прикріплені глушники (рис.7). Відповідно до ГОСТ 4846-69 система для відводу відпрацьованих газів не має створювати протитиск у вихідному отворі випускного трубопроводу двигуна більше 20 мм. рт. ст.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 59



Рис.7. Система випуску відпрацьованих газів і система наддуву

Система живлення двигуна

Живлення повітрям здійснюється через повітряний фільтр випробовуваного двигуна з використанням нагнітача повітря (рис.7), що має регулятор потужності, розташований на пульті керування (рис.9).



Рис.8. Система для визначення витрати палива ваговим методом



Рис.9. Пульти керування дослідною установкою

Вимірювальне обладнання

Було використано датчик Холла SS413A фірми - виробника Honeywell.

Принцип дії датчика оснований на ефекті Холла. Ефект Холла виникає в плоскій напівпровідниковій пластині внесеній в магнітне поле при пропусканні через неї електричного струму.

Датчик тиску. Було використано датчик абсолютного тиску MPXHZ6400AC6T1 фірми-виробника Freescale (рис.10). Даний датчик п'єзоелектричного типу, тобто чутливим елементом датчиків цього типу є п'єзоелемент - матеріал, що виділяє електричний сигнал при деформації (прямий п'єзоефект). П'єзоелемент знаходиться в вимірюваному середовищі, він буде виділяти струм пропорційний величині зміни тиску. Так як електричний

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 60

сигнал у п'єзоматеріалах виділяється тільки при деформації, а при постійному тиску деформування не відбувається, то цей датчик придатний тільки для вимірювання швидкозмінливого тиску (рис.10).

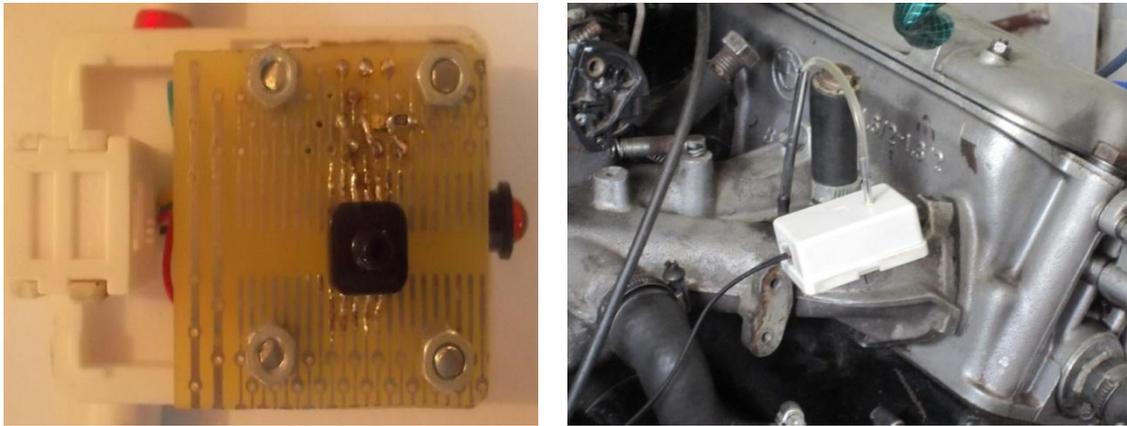


Рис.10. Загальний вигляд датчика тиску

Застосування мікроконтролера значно покращує показники точності та сприяє подальшому розширенню функціональних можливостей програмно-апаратного комплексу.

Експериментально встановлено вплив тиску наддуву на наступні показники:

- частоту обертання колінчастого вала;
- витрату палива;
- температуру відпрацьованих газів;

Також при проведенні досліджень виміряно шумність двигуна.

Значення тиску у впускному колекторі вимірювались за допомогою термокомпенсованого датчика тиску MPXHZ6400AC6T1 (рис.10) і через модуль програмно – апаратного комплексу МК ATmega16 (рис.11) синхронізувались за часом з параметрами обертів колінчастого вала двигуна, отриманими від датчика Холла Honeywell SS413A. Отримані дані виводилися на ПК за допомогою програми MoRoS_SW_20130429_v2

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 61

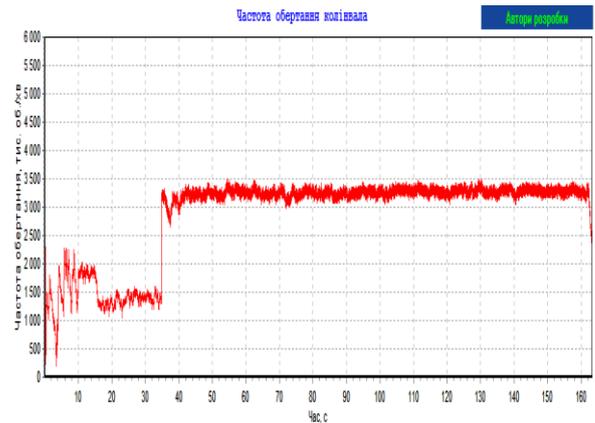


Рис.11. Загальний вигляд програмного комплексу і типової осцилограми.

Експериментальні дослідження проводилися на трьох режимах роботи двигуна (режим холостого ходу, середніх обертів та номінальному режимі), при трьох режимах наддуву.

Експеримент проводився в три етапи:

I – Режим холостого ходу ($n=1200$ об/хв). Двигун працював на протязі 60 с на кожному режимі наддуву: $P_k=0$ МПа, $P_k=0,00022$ МПа, $P_k=0,00041$ МПа, $P_k=0,00052$ МПа.

Тиск наддуву виміряно у впускному колекторі при закритій та відкритій випускній системі для трьох режимів роботи нагнітача повітря. Отримані дані занесено до табл. 3.8.

II – Режим середніх обертів ($n=2200$ об/хв). Експеримент проводився аналогічно попередньому режиму.

III – Номінальний режим ($n=3200$ об/хв). Експеримент проводився аналогічно попереднім режимам.

Результати досліджень заносилися до протоколу. Зразок протоколу наведено нижче.

Табл. 1

Результати вимірювань тиску наддуву

Закрита випускна система		Відкрита випускна система	
Режим	Тиск	Режим	Тиск
I	0,00023 МПа	I	0,00022 МПа
II	0,00042 МПа	II	0,00041 МПа
III	0,00055 МПа	III	0,00052 МПа

Результати експерименту дають можливість дослідити динаміку процесу зміни обертів колінчастого вала при різних значення тиску наддуву.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 62

Зразок протоколу

	T, °C		Gt, г/хв	Шумність
	Термопара	Пірометр		
P0				
P1				
P2				
P3				

Аналіз отриманих даних дозволив визначити середні значення експлуатаційних показників та їх залежність від тиску наддуву. За ними було побудовано графіки приведені нижче.

Табл.2

Результати дослідження, проведеного на режимі холостого ходу

<i>n, об/хв</i>	<i>Gt, кг/год</i>	<i>T, °K</i>
1282,68	1,2	463
1374,31	1,26	483
1388,84	1,32	493
1398,84	1,32	503

Табл.3

Результати дослідження, проведеного на режимі середніх обертів

<i>n, об/хв</i>	<i>Gt, кг/год</i>	<i>T, °K</i>	<i>Шумність, дБ</i>
2164	1,98	583	90,3
2136,44	1,8	643	91,2
2189,8	1,74	693	89,5
2214,84	1,56	703	89,9

Табл.4

Результати дослідження, проведеного на номінальному режимі

<i>n, об/хв</i>	<i>Gt, кг/год</i>	<i>T, °K</i>	<i>Шумність, дБ</i>
3235,35	3,36	743	95,9
3276,11	3,06	773	96,7
3283,34	2,88	793	96,7

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 63

3293,97	2,88	803	95,9
---------	------	-----	------

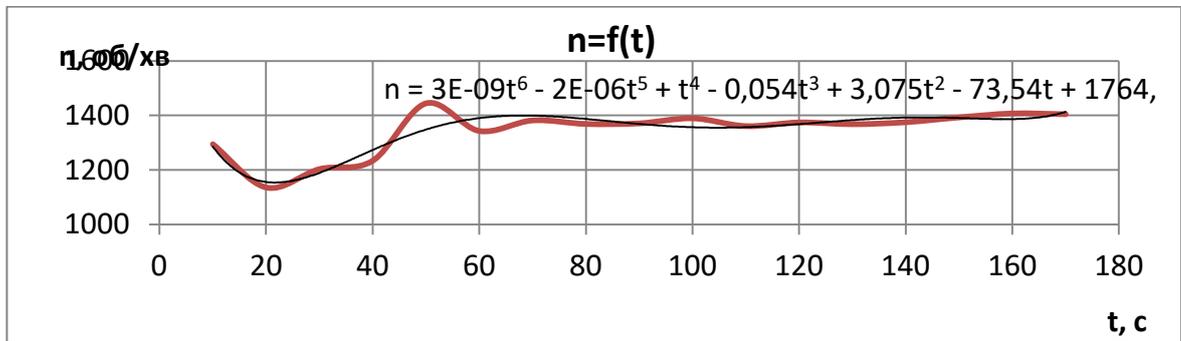


Рис.12 Залежність частоти обертання колінчастого валу на режимі холостого ходу від часу t

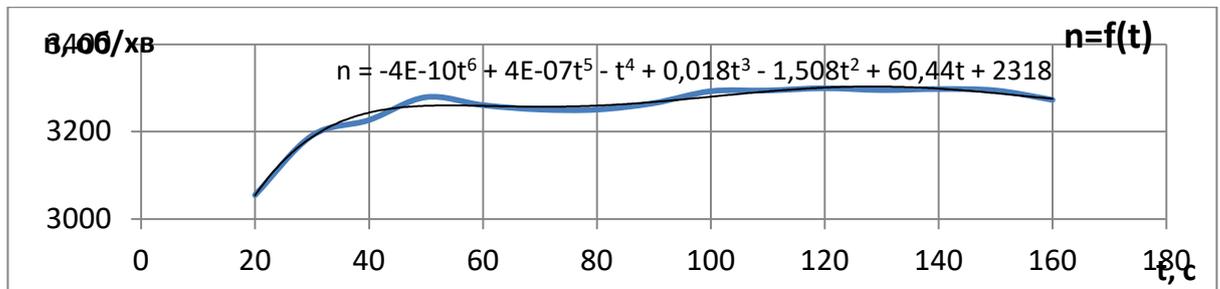


Рис.13. Залежність частоти обертання колінчастого валу n на номінальному режимі від часу t

Залежність показує, що до ввімкнення наддуву спостерігається нестійка робота двигуна. Після ввімкнення наддуву робота двигуна стає стійкою та еластичною, що підтверджують покази шумоміра, а також спостерігається підвищення частоти обертання колінчастого валу на 120 об/хв на режимі холостого ходу, що складає 8% від початкових обертів.

На режимі середніх обертів чітко видно сходинки перемикання режимів наддуву починаючи з 70-ї секунди. При роботі двигуна на першому режимі наддуву знижується частота обертання колінчастого валу та підвищується шумність. Це пояснюється тим, що нагнітач працює незалежно від двигуна і ми спостерігаємо неузгоджений вплив I режиму наддуву на цих обертах двигуна. З переходом на наступні режими наддуву спостерігається еластична робота та підвищення обертів колінчастого валу на 3%.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 64

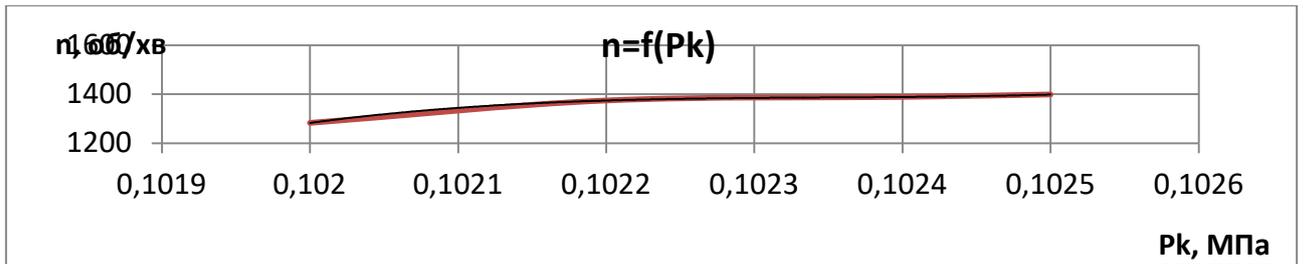


Рис.14. Залежність частоти обертання колінчастого вала n на режимі холостого ходу від тиску наддуву P_k

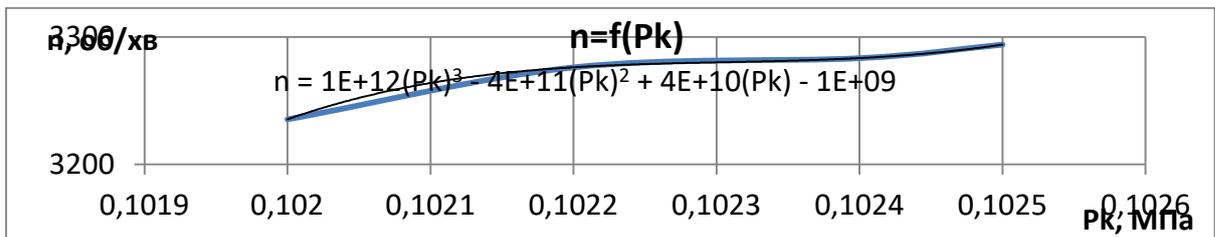


Рис.15. Залежність частоти обертання колінчастого вала n на номінальному режимі від тиску наддуву P_k .

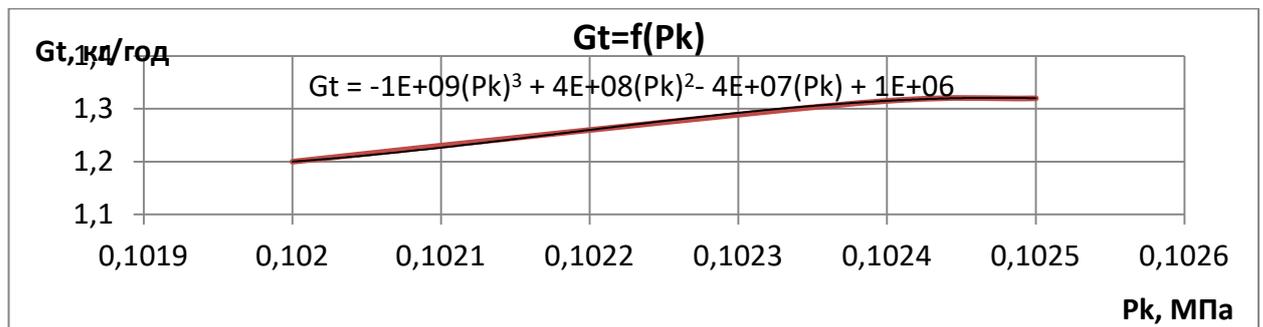


Рис.16. Залежність годинної витрати палива G_t від тиску наддуву P_k на режимі холостого ходу

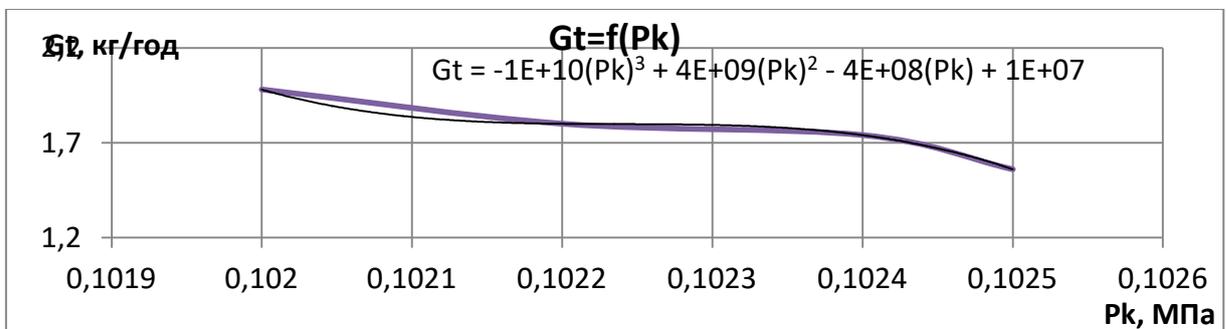


Рис.17. Залежність годинної витрати палива G_t від тиску наддуву P_k на режимі середніх обертів

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 65

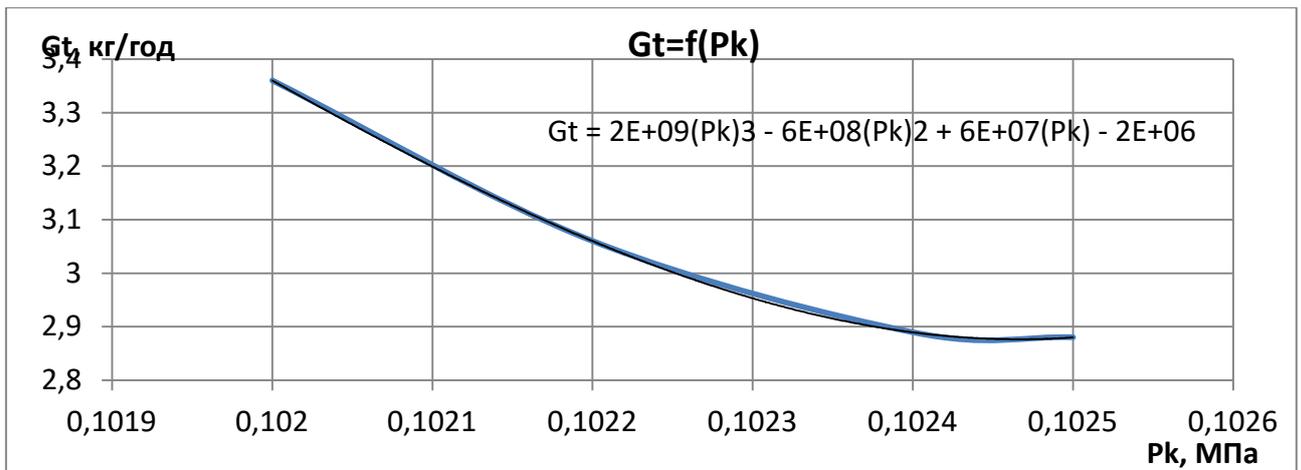


Рис.18. Залежність годинної витрати палива Gt від тиску наддуву Pk на номінальному режимі.

Порядок виконання роботи

- 1.Робота виконується з виконанням всіх необхідних заходів безпеки.
- 2.Запустити двигун і прогріти до робочої температури, одночасно увімкнути комп'ютер і запустити необхідні програми.
- 3.Визначити витрату палива, частоту обертання колінчастого валу при різних фіксованих значеннях тиску наддуву, розрідження у випускній системі та частотах обертання колінчастого валу. Занести результати до протоколу експерименту.
4. Побудувати графіки результатів досліджень та провести їх аналіз.

Контрольні питання

1. Як впливають параметри наддуву та розрідження у випускній системі на показники газообміну ДВЗ ?
2. Як впливають параметри газообміну на показники роботи ДВЗ ?
3. Перелічити та описати складові обладнання, що використовувалось при проведенні випробувань.
4. Навести блок-схему програмно- апаратного комплексу для дослідження впливу параметрів газообміну на показники роботи ДВЗ.
5. Які основні висновки даної роботи ?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 66

Лабораторна робота №8

Визначення мас елементів КШМ та зведення мас поршневого ДВЗ.

Мета роботи: визначення вихідних даних для динамічного розрахунку КШМ двигуна, що проектується (маси поршневого комплекту, маси шатуна, розподілу маси шатуна, віднесені до осі поршневого пальця та осі шатунної шійки).

Обладнання: Штангенциркуль; рулетка (лінійка); секундомір; ваги електронні ($l - 50$ Н); пристрій для дослідження маятникових коливань шатуна; поршневі комплекти та шатуни в зборі ДВЗ.

Загальні відомості

За характером руху маси деталей кривошипно-шатунного механізму поділяються на маси, що здійснюють (рис 1):

- зворотно-поступальний рух (поршень, поршневі кільця, поршковий палець, стопорні кільця – маса поршневого комплекту): - точка А;
- обертовий рух (колінчастий вал: корінні шійки, щоки, противаги); - точка В;
- складний плоско-паралельний рух (шатун в зборі).

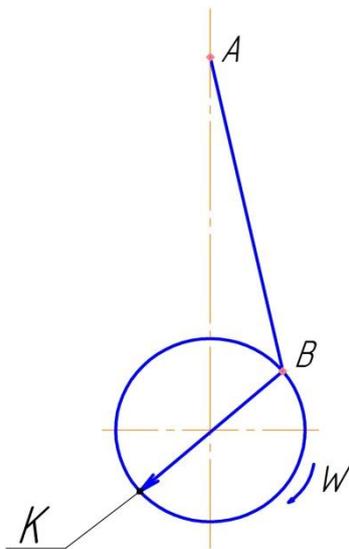


Рис.1Схема КШМ

Вісь поршневого пальця здійснює зворотно-поступальний рух з лінійною швидкістю в діапазоні $V_a = 0 \dots V_{a \max}$, яка визначається за формулою:

$$V_a = \omega R (\sin \varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi), \text{ м/с} \quad (1)$$

де: ω – частота обертання колінчастого валу, с^{-1} ;

R – радіус кривошипу, м;

φ – кут повороту колінчастого валу, град;

$\lambda = \frac{R}{L}$ – відношення радіусу кривошипа до довжини шатуна.

Змінна лінійна швидкість мас, що відносяться до точки А викликає виникнення сил інерцій, що визначаються за формулою:

$$P_{jA} = -m_{jA} j_A = -m_{jA} R \omega^2 (\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi), \text{ Н} \quad (2)$$

де: m_{jA} – величина маси, що здійснює зворотно-поступальний рух.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 67

При роботі поршневого ДВЗ в кривошипно-шатунному механізмі діють сили тиску газів та інерційні сили, схеми котрих представлені на рис 2а,б:

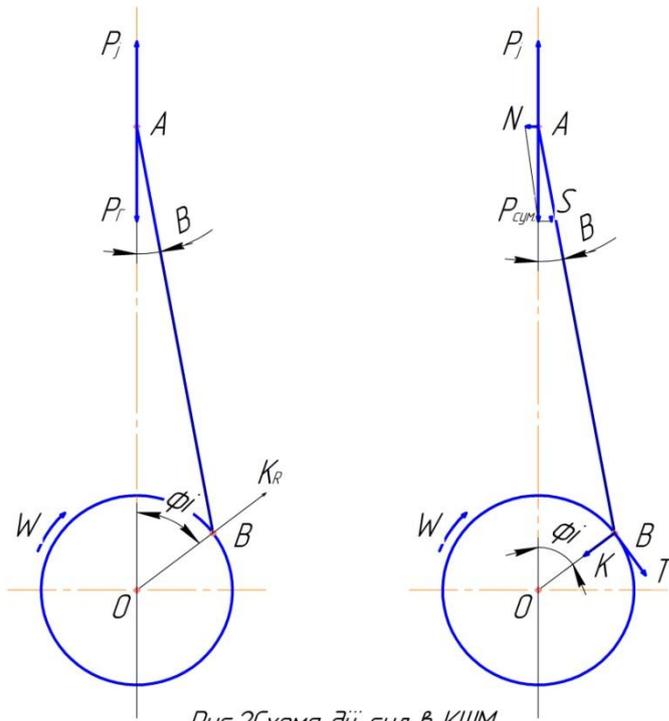


Рис.2 Схеми дії сил в КШМ

масами, що здійснюють зворотно-поступальний рух (точка А) та обертовий рух (точка В) тобто можна виконати її у вигляді:

$$m_{шA} = m_{п} + m_{шA}, \quad (5)$$

де: $m_{п}$ – маса поршневого комплекту;

$m_{шA}$ - частина маси шатуна, віднесена до осі поршневого пальця.

- що здійснюють обертовий рух:

$$m_A = m_{шш} + m_{щ} + m_{пр} + m_{шв}, \quad (6)$$

де: $m_{шш}$ – маса шатунної шійки;

$m_{щ}$ – приведена маса щок колінчастого валу;

$m_{пр}$ – приведена маса противаг колінчастого валу;

$m_{шв}$ – частина маси шатуна, віднесена до осі шатунної шійки .

В даній лабораторній роботі розглянуті питання визначення значень мас: $m_{п}$; $m_{ш}$; $m_{ша}$; $m_{шв}$.

Визначення маси поршня та шатуна ($m_{п}$ та $m_{ш}$).

Для приблизного визначення маси поршня двигуна, що проектується, доцільно використовувати конструктивну масу $m'_п$, що визначена для поршнів існуючих двигунів та представляє собою умовну масу 1 м^2 днища поршня, тобто:

$$m'_п = \frac{m_n}{F_n} = \frac{4m_n}{\pi D^2}, \text{ кг/м}^2 \quad (7)$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 68

де: F_{Π} – площа днища поршня; м^2

D – діаметр циліндра, м^2

звідки:

$$m_n = \frac{m'_n \pi D^2}{4}, \text{ кг} \quad (8)$$

Маса шатуна визначається з тих же міркувань з урахуванням конструктивної маси:

$$m'_{ш} = \frac{m_{ш}}{F_n}, \text{ кг/м}^2 \quad (9)$$

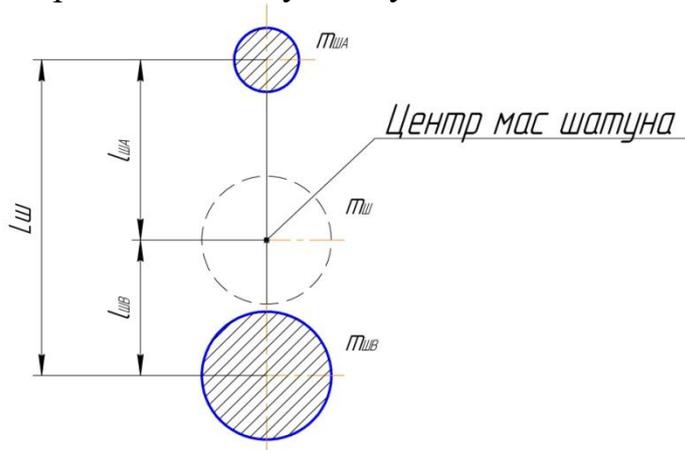
звідки:

$$m_{ш} = \frac{m'_{ш} \times \pi D^2}{4}, \text{ кг} \quad (10)$$

де: $m'_{ш}$ – конструктивна маса шатуна, кг/м^2

Визначення зведених мас шатуна ($m_{шA} + m_{шB}$).

Для отримання динамічної еквівалентної системи, що замінює, необхідно дотриматись наступних умов:



- сума еквівалентних мас повинна дорівнювати масі шатуна:

$$m_{ш} = m_{шA} + m_{шB}, \quad (11)$$

- спільний центр мас еквівалентних мас повинен співпадати з центром мас шатуна:

$$\sum m_i \times l_i, \text{ або } m_{шA} \times l_{шA} - m_{шB} \times l_{шB} = 0 \quad (12)$$

- сума моментів інерції

еквівалентних мас відносно центру мас шатуна повинна дорівнювати моменту інерції маси шатуна відносно тієї ж точки:

$$m_{шA} \times l_{шA}^2 + m_{шB} \times l_{шB}^2 = m_{ш} \times l_{шA}^2 + m_{шB} \times l_{шB}^2 \quad (13)$$

Однак остання умова на практиці не виконується внаслідок невідповідності двомасової заміщеної системи параметрам реальних шатунів, але це не здійснює суттєвого впливу на точність результатів розрахунку, тому цією умовою звичайно зневажають.

З перших двох умов (11 та 12):

$$m_{шA} = m_{ш} \frac{l_{шB}}{l_{ш}}, \quad (14)$$

$$m_{шB} = m_{ш} \frac{l_{шA}}{l_{ш}} \quad (15)$$

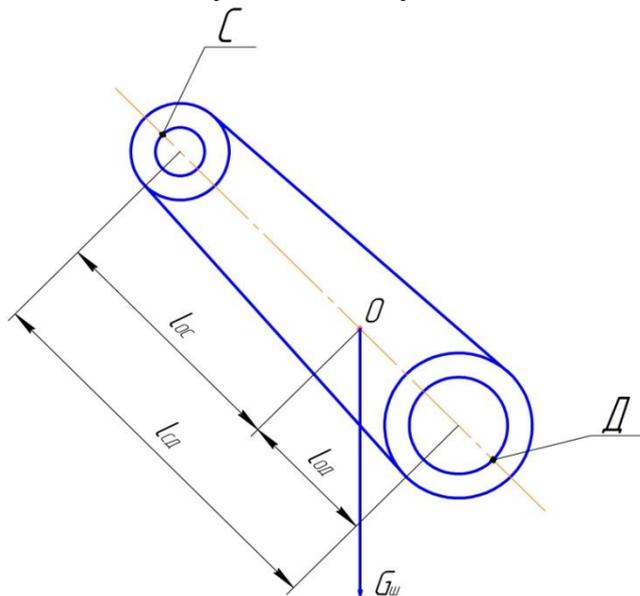
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 69

Виходячи із залежностей (14,15) для визначення еквівалентних мас шатуна $m_{шA}$ та $m_{шB}$ необхідно знайти величину відрізків:

- $l_{шA}$ – відстань від центру мас шатуна до осі його верхньої головки;
- $l_{шB}$ – відстань від центру мас шатуна до осі його нижньої головки.

Для визначення величин $l_{шA}$, $l_{шB}$, $m_{шA}$, $m_{шB}$, використовують аналогічний метод (з використанням креслення шатуна) та експериментальні методи (зважування та качання).

Розглянемо метод качання, заснований на використанні теорії коливань математичного маятника. За допомогою цього методу визначають положення центру мас шатуна та за формулами 14 та 15 – приведені маси: $m_{шA}$ та $m_{шB}$. Зазначені дії виконують в наступній послідовності:



- після підвішування в точці С верхньої головки визначають період власних малих ($5...7^\circ$) коливань шатуна T_C ;
- аналогічно визначають період коливань T_D (при підвішуванні на призмі на точці D нижньої головки шатуна);
- за визначеними параметрами T_C , T_D та l_{CD} за наведеною нижче формулою

визначають положення центру мас шатуна:

$$l_C = l_{CD} \frac{4\pi^2 l_{CD} - T_D^2 \times g}{8\pi^2 l_{CD} - (T_C^2 + T_D^2)g}, \quad (16)$$

та за формулами 14 та 15 приведені маси шатуна $m_{шA}$ та $m_{шB}$.

Контрольні питання

1. Нарисувати і пояснити схему сил і моментів, що діють в кривошипно-шатунному механізмі ДВЗ.
2. Пояснити, з якою метою і яким чином здійснюється зведення мас деталей КШМ ДВЗ.
3. Пояснити суть методів зведення мас шатуна.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 71 / 70</i>

4. Яким чином можливо наближено визначити приведені маси шатуна ?
5. Пояснити, яким чином можливо підвищити точність експериментального визначення приведених мас шатуна?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/2/274.00.1/Б/ОК.23- 2025
	Екземпляр № 1	Арк 71 / 71

Літературні джерела

1. 1. Транспортні енергетичні установки: навч. посіб. / О. М. Артюх, О. В. Дударенко, В. В. Кузьмін та ін. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 264 с.
2. Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Є., Тимченко І. І. Автомобільні двигуни: Підручник. — К.: Арістей, 2006. — 476 с.
3. Кисликов В. Ф., Лущик В. В. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. — 6-те вид. — К.: Грамота, 2013. — 400 с.
4. Канарчук В. Є. Енергетичні установки транспортних засобів: Навчальний посібник. — К.: НТУ, 2011.
5. Гутаревич Ю. Ф., Зеркалов Д. В., Говорун А. Г. Екологія та автомобільний транспорт: Навчальний посібник. — К.: Арістей, 2008. — 293 с.
6. Полянський О. С. Будова автомобільних двигунів: Навчальний посібник. — Житомир: ЖДТУ, 2014. — 448 с.
7. Клименко О. В. Альтернативні палива та енергетичні установки: Навчальний посібник. — Харків: ХНАДУ, 2018.
8. Марченко А. П., Рязанцев М. К., Шеховцов А. Ф. Двигуни внутрішнього згоряння. Серія підручників у 6 томах. Т.1: Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин. — Харків: Прапор, 2004. — 384 с.
9. Кисликов В. Ф., Лущик В. В. Автомобільні двигуни: Навчальний посібник. — К.: Грамота, 2011. — 352 с.
10. Сирота Р. В. Основи теорії автомобільних двигунів: Навчальний посібник. — Львів: Магнолія 2006, 2012.