

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

МЕХАНІКО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу

**ВИПРОБУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК
РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт**

**із дисципліни
*«ЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ
РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ»***

Харків – 2025

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу 2 червня 2025 р., протокол № 10.

Методичні вказівки призначено для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності *Л7* «Залізничний транспорт» освітніх програм «Локомотиви та локомотивне господарство» та «Високошвидкісний рухомий склад» усіх форм здобуття освіти, які вивчають дисципліну «Енергетичне обладнання рухомого складу залізниць».

Укладачі:

проф. Д. С. Жалкін,
старш. викладачі О. В. Клименко,
М. В. Максимов

Рецензент

проф. О. С. Крашенінін

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лабораторна робота 1. Електропневматичний індикатор МАІ-2.....	5
Лабораторна робота 2. Визначення положення внутрішньої мертвої точки (ВМТ) досліджуваного циліндра енергетичної установки.....	15
Лабораторна робота 3. Побудова колової діаграми фаз газорозподілу і визначення загального кута випередження подавання пального чотиритактним тепловозним дизелем.....	24
Лабораторна робота 4. Регулювання і розподіл потужності по циліндрах тепловозного двигуна.....	32
Лабораторна робота 5. Зняття навантажувальної характеристики енергетичної установки рухомого складу.....	40
Список літератури.....	50

ВСТУП

Методичні вказівки містять матеріали з випробування енергетичних установок автономного рухомого складу залізниць. Матеріали призначені для використання при проведенні лабораторних робіт для бакалаврів спеціальності *Л7* «Залізничний транспорт» освітніх програм «Локомотиви та локомотивне господарство» та «Високошвидкісний рухомий склад» усіх форм здобуття освіти, які вивчають дисципліну «Енергетичне обладнання рухомого складу залізниць».

Основна мета виконання лабораторних робіт – закріпити теоретичні розділи курсу і набути практичних навичок при випробуванні дизелів після ремонту.

Перед початком робіт здобувачі зобов'язані ознайомитися з основними правилами техніки безпеки при проведенні досліджень і дотримуватися всіх вказівок керівника при їхньому проведенні.

Порядок виконання лабораторних робіт: самостійно ознайомитися зі змістом чергової лабораторної роботи, підготувати звіт та відповіді на контрольні питання, виконати роботу і здати її. Звіти про виконані лабораторні роботи мають містити необхідні ескізи, рисунки, таблиці, розрахунки та висновки.

Лабораторна робота 1

ЕЛЕКТРОПНЕВМАТИЧНИЙ ІНДИКАТОР МАІ-2

Мета роботи: ознайомлення з лабораторією, установками та стендами для випробувань енергетичних установок рухомого складу.

Завдання

1 Вивчити елементи експериментальної установки: повітряний реостат, генератор для навантаження, паливну систему, систему охолодження, повітряну систему, пульт керування.

2 Вивчити способи вимірювання витрати пального та повітря, числа обертів, температури вихлопних газів, води та олії, тисків повітря та олії.

3 Вивчити способи вимірювання тиску у циліндрі.

Короткі теоретичні відомості

У лабораторних умовах двигуни випробовують на спеціальних установках, до складу яких входять [1, 3, 7]:

- випробувальний стенд, що містить двигун та генератор для навантаження двигуна;
- системи паливоподавання, повітропостачання, охолодження двигуна, відведення відпрацьованих газів;
- допоміжні пристрої та апаратура для вимірювання різних фізичних величин, що визначають при проведенні випробувань.

Випробувальний стенд повинен мати обладнання для вимірювання таких показників: потужності двигуна $\pm 0,5$ % від максимальних показань; частоти обертання колінчастого вала з точністю $\pm 0,5$ %; витрати пального з точністю ± 1 %; температури повітря, що всмоктується, з точністю ± 1 °С; температури охолоджувальної рідини з точністю ± 2 °С; температури олії з

точністю ± 2 °С; температури пального з точністю ± 2 °С; температури відпрацьованих газів з точністю ± 50 °С; барометричний тиск з точністю ± 200 Па; тиск олії з точністю ± 20 кПа; кута випередження початку подавання пального з точністю $\pm 1^\circ$ повороту колінчастого вала; тиску наддування з точністю 0,05 кПа.

Електропневматичний індикатор МАІ-2

Індикатор МАІ-2 призначений для визначення зміни тисків у циліндрах двигуна, а також у впускних і випускних колекторах, залежно від кута повороту колінчастого вала. Існує кілька систем індикаторів стробоскопічної дії, але практичне застосування одержали лише електропневматичні індикатори з крапковим записом діаграми. В основу роботи індикатора покладений принцип реєстрації рівності тисків у досліджуваному об'ємі і у системі індикатора. Для цієї мети в досліджуваній об'єм установлюють спеціальний приймач тиску, так званий датчик. У датчику є тонка мембрана, на яку впливає з одного боку тиск газів з досліджуваної камери, з іншого – тиск стиснутого повітря із системи індикатора. Якщо тиск газів виявиться більше тиску стиснутого повітря, мембрана прогинається усередину датчика і торкається електрода, зв'язаного з електричною записуючою системою індикатора.

Як тільки тиск газів зменшиться до тиску стиснутого повітря, мембрана повернеться в нейтральне вихідне положення і розімкне електричне коло: за подальшого зменшення тиску мембрана прогинається в протилежну сторону.

Тиск, необхідний для прогину мембрани до торкання з контактом, залежить від товщини мембрани і може бути в межах 0,005 - 0,015 МПа; тому можна вважати з достатньою точністю, що в момент торкання відриву мембрани від контакту тиск газів дорівнює тиску стиснутого повітря.

На рисунку 1 наведене креслення датчика до індикатора МАІ-2. У корпусі датчика є зовнішній обмежник 1, мембрана 2 товщиною 0,08 - 0,15 мм, виготовлена зі спеціальної жароміцної сталі, і внутрішній обмежник 3. Конструкція обмежників така, що забезпечує найбільш вільний підхід газів і повітря до мембрани. Обидва обмежники з боку, зверненого до мембрани, мають сферичну поверхню глибиною 0,02 мм, що обмежує максимальну деформацію мембрани.

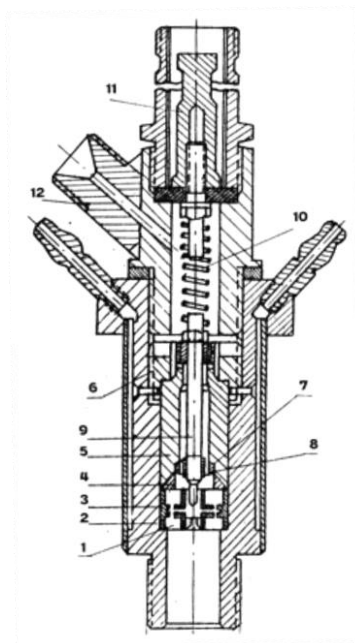


Рисунок 1 – Датчик мембранний

Внутрішній обмежник має отвір для висувного контакту. Для усунення впливу неточностей збирання деталей цього вузла і забезпечення рівномірного тиску, на внутрішній обмежник покладена сферична шайба 1, на яку діє натискна втулка 5. Цей вузол стягається спеціальною гайкою 6. Корпус датчика має сорочку для водяного охолодження, що охороняє деталі датчика від сильного перегріву гарячими газами. У нижній частині натискної втулки є текстолітова напрямна втулка 7 з отворами для проходу повітря. У цю втулку запресована латунна втулка 8, у яку загортається контакт 9, що входить своїм проточеним кінцем в отвір внутрішнього

обмежника. Контакт 9 через пружину 10 з'єднується з контактом 11, до якого приєднується провід, що йде до тиратронного перетворювача. Повітря з балона підводиться до штуцера 12. При роботі датчика мембрана 2 періодично розриває первинне коло з електродом 9.

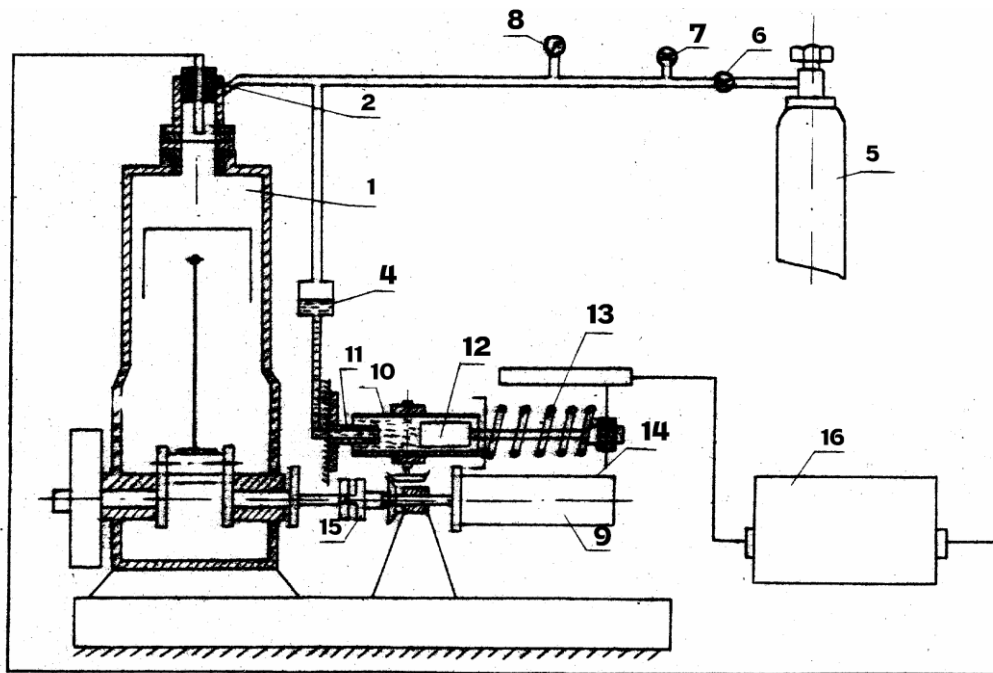
Для забезпечення надійної роботи мембрани і контакту, фіксація моменту замикання виробляється за допомогою тиратронного перетворювача з малим струмом у первинному колі. Дуже слабкі імпульси, що виходять у первинному колі при замиканні і розмиканні перетворюються тиратронним перетворювачем в імпульси струму високої напруги, що направляється до пишучого механізму індикатора, де відбувається пробій повітряного проміжку. Виникаюча при цьому іскра залишає помітну для ока точку на спеціальному папері, укріпленому на барабані, що обертається синхронно з колінчатим валом.

Переміщення іскрового розрядника, з якого відбувається розряд на барабан, викликається зміною тиску в повітряній системі і деформацією пружини індикатора пропорційно тиску повітря. Так, по утворюючій барабана записується величина тисків, а зв'язок барабана з колінчатим валом забезпечує розташування точок тиску за кутом повороту кривошипа чи за часом. Діаметр барабана приймають таким, щоб довжина його окружності дорівнювала 360 мм, при цьому 1 мм дорівнює градусу повороту.

На рисунку 2 наведена схема дослідної установки, обладнаної індикатором МАІ-2 [7].

Барабан 9 з'єднаний з валом двигуна: барабан обгорнуть листом папера, закріпленим за допомогою затискача. Уздовж утворюючій барабана переміщається розрядник 14, з'єднаний зі штоком індикатора. На штоку посаджений поршень 12, що переміщається в циліндрі 10 індикатора. Поршень переміщається під дією тиску повітря, що знаходиться в повітряній трубі 3 і діє через рідину, що надходить у гільзу з розширювального бачка 4 через порожній плунжер 11. Тиск рідини діє на

поршень 12, що навантажений пружиною і переміщається під дією тиску повітря і пружини, з'єднаної одним кінцем з нерухомим корпусом, а іншим – зі штоком індикатора.



- 1 – циліндр двигуна; 2 – датчик тиску; 3 – труба; 4 – бачок;
5- балон; 6,7,8-крани; 9-барабан; 10-циліндр індикатора; 11-плунжер;
12 – поршень; 13 – пружина; 14 – розрядник; 15 – муфта;
16 – посилювач струму

Рисунок 2 – Схема стенда обладнаного індикатором МАІ-2

Гільза циліндра обертається від вала барабана через редуктор для зменшення тертя між поршнем і гільзою. Тиск повітря в повітряній системі індикатора змінюється шляхом поступового випуску стиснутого повітря через кран 7. Розрядник 14 не доторкається до папера. Між ними є невелика відстань, через яку може проскакувати електрична іскра. Іскра пробиває папір на барабані в той момент, коли тиск у циліндрі 10 індикатора дорівнює тиску газів у циліндрі двигуна. Швидкість переміщення поршня індикатора різна та залежить від швидкості падіння тиску повітря з труби 3 через кран 7.

Спосіб синхронізації моменту вирівнювання тисків у циліндрі двигуна і циліндрі індикатора та моменту появи іскри між розрядником 14 і барабаном полягає в такому. Основним пристроєм, призначеним для цієї мети, є датчик 2, установлений на циліндрі дизеля; при рівних тисках по обидва боки між мембраною і контактом є невелика відстань. Для спрощення можна вважати, що при цьому мембрана торкається контакту. Тоді замкнено електричне коло, в яке входить тиратронний перетворювач 16, з'єднаний вхідною частиною з приймачем тиску, а вихідною – із шиною високої напруги.

Імпульси високої напруги, що надходять з тиратронного перетворювача, попадають на шину високої напруги, а відтіля на розрядний штифт, внаслідок чого, між штифтом і барабаном відбувається іскровий розряд. Момент розряду фіксується на паперовій стрічці, закріпленій на барабані, у виді пробитої в папері точки. Отримана на папері точка лежить на індикаторній діаграмі.

Відстань цієї точки по осі абсцис від лінії ВМТ є кутом повороту кривошипа (у масштабі 1 мм дорівнює 1 градусу о.к.в.). Відстань за віссю ординат від нульової лінії є надлишковим тиском у циліндрі в цьому масштабі, що залежить від номера пружини і діаметра плунжера.

Індикаторна діаграма виходить із точок різних циклів. Тому електропневматичний індикатор відноситься до крапкового чи стробоскопічного індикатора. Перевага його в одержанні усередненої діаграми з багатьох сотень циклів, що дає змогу одержати більш надійні середні параметри циклів. Недоліком є великий розкид точок діаграми, що утрудняє її обробку, що усувається застосуванням спеціальної методики обробки діаграм.

У пульті керування зосереджена основна частина здвоєної повітряної системи, системи індикатора і його електрична частина, що складається з двох тиратронних перетворювачів. Електрична частина індикатора реєструє тиск і зазначає основні базові точки, що відповідають верхньому і нижньому положенню поршня, моменту підйому голки форсунки і т.д.

Наявність в індикаторі МАІ-2 здвоєних повітряної й електричної систем забезпечує можливість запису діаграм за двома каналами, що сильно розширює можливості індикатора.

Для реєстрації ВМТ досліджуваного циліндра застосовується електромагнітний показчик. В основу роботи показчика покладено принцип електромагнітної індукції, при якому в провіднику, поміщеному в перемінному магнітному полі, наводиться ЕРС, пропорційна швидкості зміни магнітного потоку за часом.

Як видно з принципової схеми, наведеної на рисунку 3, індуктивний показчик складається з постійного магніту 1, магнітопроводу 3, що має магнітний зазор, і котушок 2, посаджених на магнітопровід.

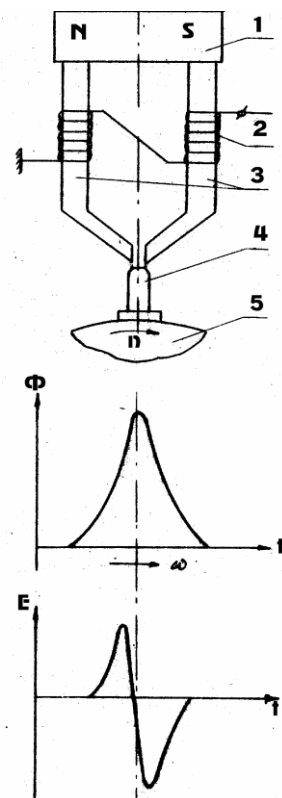


Рисунок 3 – Показчик ВМТ

Обмотки з'єднані між собою послідовно; вільний кінець однієї з котушок приєднаний до зовнішнього контакту на корпусі показчика. Повз магнітний зазор проходить сердечник 4, укріплений на маховику чи іншій

обертовій деталі двигуна. При підході до магнітопроводу сердечник зменшує повітряний зазор, унаслідок чого магнітний потік через магнітопровіди, як показано на рисунку 3, зростає, досягаючи максимальної величини, коли сердечник знаходиться проти зазору, потім магнітний потік спадає до первісної величини.

Оскільки електрорушійна сила, що наводиться, пропорційна швидкості зміни магнітного потоку, найбільша її величина виходить у момент проходження сердечником осі магнітного зазору, що дає можливість реєструвати цей момент, подаючи індукований імпульс на вхід тиратронного перетворювача чи на осцилограф. Показчик виконано у вигляді окремого вузла, встановленого на досліджуваному двигуні.

Порядок виконання роботи

Підготовку індикатора до індиціювання двигуна здійснюють в такий спосіб. Підбирають відповідний манометр і встановлюють на пульті керування. Манометр має бути таким, для якого вимірюваний тиск складає 75 % його шкали.

Після монтажу вимірювальних механізмів і манометрів перевіряють усю повітряну систему на витік при максимальному тиску. Якщо витоків немає, то вмикають тиратронний перетворювач.

Потім роблять перевірку датчика: вимірюють тиски замикання і розмикання. Різниця цих тисків показує чутливість датчика. Таку перевірку необхідно робити до і після закінчення досліду. Датчик регулюють так, щоб при рівності тисків обох боків мембрани контакт первинного кола розривався. Тому для замикання контакту треба дати надлишковий тиск із боку циліндра.

Після перевірки датчика можна приступити до зняття діаграм. Зняття діаграми іде завжди при зниженні тиску в системі, якщо знімають діаграму жорсткою пружиною і навпаки, якщо знімають діаграму слабкою пружиною. При цьому мембрана завжди буде притиснута до зовнішнього

чи внутрішнього обмежника. Це необхідно для запобігання перегріву мембрани гарячими газами.

Порядок зняття діаграм

1 При знятті діаграми жорсткою пружиною в повітряній системі індикатора створюють тиск повітря вище максимального тиску згоряння в циліндрі (P_z).

2 На барабан кріплять графітовий папір (400x180 мм).

3 Зрушенням рукоятки вперед роблять вмикання однозубої муфти.

4 Перемикач на пульті (П-1) ставлять у положення «приймач» (датчик).

5 Перемикач на пульті (П-2) ставлять у положення «замикання».

6 Вимикач на пульті «анод» перемикають за стрілкою нагору.

7 Відкриваючи крани починають повільно знижувати тиск у системі.

Тривалість проходження всієї шкали тиску має бути не менше 30 с – для того, щоб устигали вирівнюватися тиски всіх частин системи.

8 Здійснюючи цю операцію, можна відразу нанести на діаграму шкалу тисків, використовуючи для цього кнопку (К-1) «автоматична робота». У той момент, коли манометр показує величину тиску, що бажають зафіксувати, закривають кран випуску повітря, натискають тумблер, і на діаграму наносять, у відповідному місці, горизонтальну лінію. Такі лінії можуть бути нанесені через певні інтервали тисків, і на діаграмі буде отримана шкала тисків.

9 При досягненні атмосферного тиску кнопкою «автоматична робота» наносять атмосферну лінію.

10 Після цього перемикач (П-1) ставлять у положення ВМТ і, не припиняючи роботи тиратронного перетворювача, закривають кран, через який вироблявся випуск повітря, відкривають кран «з балона» і наповняють систему повітрям. При цьому зворотний хід розрядного штифта використовують для нанесення позначки верхнього мертвого положення (ВМТ).

11 Після того як тиск повітря в системі буде більше максимального в циліндрі, роботу тиратронного перетворювача припиняють поворотом вимикача (В-2) «анод», перемикач ставлять у положення «розмикання».

12 Переміщенням рукоятки керування відмикають однозубу муфту зчеплення і після зупинки барабана поворотом затискного валика знімають папір із записаною діаграмою.

Наявність двох каналів (двох вимірювальних механізмів) в індикаторі МАІ-2, дає змогу одержати діаграму процесу в одній точці робочого об'єму відразу в двох масштабах чи дві діаграми, що відносяться до різних точок.

У першому випадку можна обійтися одним датчиком тиску, а в іншому – необхідно поставити два датчики.

Зміст звіту

Призначення та схеми індикатора МАІ-2 і датчика тиску.

Порядок зняття діаграм.

Одержана діаграма та умови її отримання.

Контрольні питання

1 З яких систем складається стенд для випробувань двигунів?

2 Поясніть принцип дії приладу для вимірювання частоти обертання вала двигуна.

4 Поясніть принцип вимірювання витрат пального ваговим способом.

5 Якими методами при випробуваннях двигунів вимірюють тиск і температуру повітря у ресивері, олії та пального?

6 Для чого потрібен повітряний реостат?

7 Для чого перед початком випробування двигуна вимірюють атмосферний тиск і температуру повітря?

8 Характерні точки діаграми $P-V$ чотиритактного дизеля.

Лабораторна робота 2

ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ВНУТРІШНЬОЇ МЕРТВОЇ ТОЧКИ (ВМТ) ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ЦИЛІНДРА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Мета роботи: розглянути методи визначення ВМТ, набуття навичок обробки індикаторної діаграми.

Завдання

- 1 Визначити ВМТ трьома методами.
- 2 Обробити індикаторну діаграму.
- 3 Розрахувати показники робочого процесу.

Короткі теоретичні відомості

Для визначення та встановлення фаз газорозподілу, кута випередження подавання пального і обробки індикаторної діаграми робочого процесу двигуна необхідно з достатньою точністю знати положення ВМТ [2, 4, 5]. Погрішність не має перевищувати 1° о.к.в. Таку точність забезпечити дуже складно, тому необхідні спеціальні заходи щодо коректування положення цієї лінії на індикаторній діаграмі. Вихід за межі точності виміру при обробці діаграми спричиняє помилку до 10 % за окремими параметрами.

Визначення ВМТ у цій лабораторній роботі роблять трьома способами:

- 1 цифровим індикатором із реєстрацією переміщень і ділин на диску;
- 2 індуктивним покажчиком вала;
- 3 за індикаторною діаграмою «стиск-розширення».

Визначення ВМТ цифровим індикатором переміщень. В основу цього способу покладено вимірювання положення поршня при його русі поблизу ВМТ залежно від кута повороту колінчастого вала (о.к.в.).

Визначення ВМТ індуктивним показчиком. В основу роботи індуктивного показчика покладено принцип електромагнітної індукції, коли в провіднику, поміщеному в перемінному магнітному полі, наводиться електрорушійна сила, прямо пропорційна швидкості зміни магнітного потоку за часом. Опис показчика наведено в лабораторній роботі 1.

Зняття діаграми «стиск-розширення». Цей спосіб визначення положення лінії ВМТ є найбільш точним. Він заснований на знятті індикаторної діаграми «стиск-розширення», яку можна одержати на двигуні без підведення тепла в циліндр. При цьому вважають, що криві «стиску» і «розширення» розташовані на діаграмі симетрично, а побудована між ними лінія симетрії є лінією ВМТ [3].

Порядок роботи такий самий, що і при знятті індикаторної діаграми робочого процесу, описаний у лабораторній роботі 1, тільки при знятті діаграми «стиск-розширення» рейку паливного насоса циліндра ставлять у нульове положення, і пальне в циліндр не надходить. На цій діаграмі індуктивним показчиком у порядку, описаному в розділі «Визначення ВМТ індуктивним показчиком» наносять позначку ВМТ.

Обробка індикаторної діаграми. Зазвичай обробку індикаторних діаграм зводять до визначення тисків у циліндрі двигуна за кутом повороту вала в кількох характерних для неї вузлових точках. Використовуючи вихідні дані діаграм, можна провести детальніший обрахунок їх параметрів. Наприклад, визначити: площу індикаторної діаграми та середній індикаторний тиск, показники політроп стиснення та розширення; жорсткість роботи двигуна; величини абсолютних температур; закономірність виділення тепла при згорянні пального тощо.

Для виконання виключно трудомісткої детальної обробки індикаторних діаграм на сьогодні широко застосовують електронні обчислювальні машини, які за кілька секунд видають результати розрахунків усіх найважливіших показників робочого циклу двигуна. На практиці для цілей обробки на ЕОМ індикаторну діаграму задають у

вигляді таблиці значень, що виражають величини кута повороту вала та відповідні їм тиски. Рекомендують вносити в таблицю значення через кожні 2° обертання колінчастого вала (о.к.в.) та відлік кута обертання вести від початку такту впуску. Далі визначають масштаби тисків і кутів обертання колінчастого вала, проводять атмосферну та нульову лінії, завдають характерні точки: ВМТ, початок видимого горіння, фази газорозподілу. У результаті обробки індикаторної діаграми на ЕОМ можна отримати докладніші відомості про робочий процес випробуваного двигуна.

Порядок виконання роботи

Визначення ВМТ цифровим індикатором переміщень.

- 1 Вийняти форсунку із шахти кришки випробуваного циліндра.
- 2 Поруч із шахтою на поверхню кришки циліндра установити основу регляжу, рисунок 3.

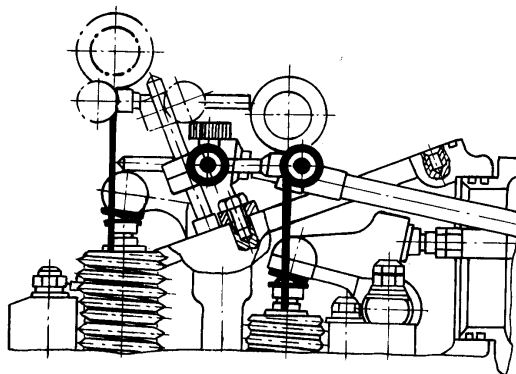


Рисунок 3 – Пристрій для визначення ВМТ поршня та перевірки фаз газорозподілу дизеля типу Д49

- 3 На основі закріпити цифровий індикатор переміщень, щуп якого опускають у форсуночний отвір циліндрової кришки. Довжина щупа має бути на 5-7 мм більше відстані від голівки поршня (при положенні його у ВМТ) до ніжки цифрового індикатора, рисунок 4.

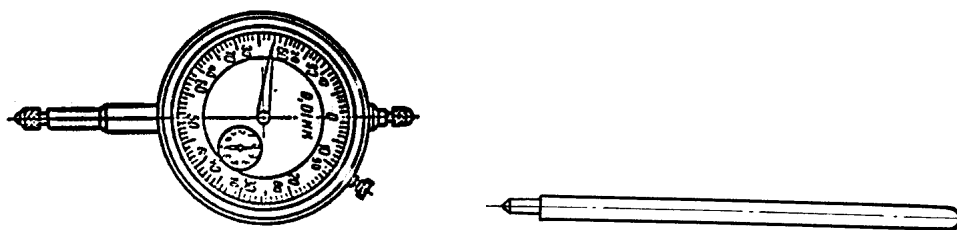


Рисунок 4 – Цифровий індикатор і голка

4 Здійснити оберт колінчастого вала за допомогою валопроворотного механізму.

4.1 Валопроворотним механізмом повернути колінчастий вал дизеля до повної зупинки стрілки індикатора.

4.2 Колінчастий вал повернути спочатку проти напрямку його обертання доти, поки шток пристрою не переміститься на 3-4 мм, а потім по напрямку обертання, доти, коли індикатор покаже 1,5-2,00 мм до нульового положення. У цей момент на шкалі муфти позначити показання стрілки.

4.3 Повернути колінчастий вал по напрямку обертання так, щоб шток пристрою перемістився на 3-4 мм від нульового положення (при цьому поршень мине ВМТ), а потім проти напрямку обертання так, щоб стрілка індикатора пристрою не доходила 1,5-2 мм до нульового положення. Позначити на шкалі муфти положення стрілки.

Внутрішню мертву точку визначають діленням навпіл відстані між отриманими позначками на шкалі муфти. Для контролю правильності знаходження ВМТ повторюють перевірку.

Заповнити таблицю вимірів.

Таблиця – Результати вимірів

Вимір 1	Значення на індикаторі, мм	⁰ о.к.в	Вимір 2	Значення на індикаторі, мм	⁰ о.к.в	ВМТ
	2,00	356		2,00	4	0 (360) ⁰

Ця робота є продовженням лабораторної роботи 1, тому позначку лінії ВМТ роблять на знятій індикаторній діаграмі. Для цього необхідно:

- увімкнути муфту барабана і переконатися, що вона цілком з'єднала барабан із колінчастим валом;
- закрити вентиль «атмосфера»;
- відкрити вентиль «тиск» і, орієнтуючись за контрольним манометром на пульті, довести тиск до 4-5 МПа;
- увімкнути тумблер у положення «запис»;
- перевести перемикач у положення «ВМТ» і повільно знижувати тиск повітря до атмосферного;
- вимкнути тумблер «запис»;
- вимкнути муфту барабана і після повної зупинки барабана зняти паперову стрічку.

Побудувати лінії симетрії. Для цього необхідно:

- зняти з барабана діаграму;
- нанести олівцем кілька ліній рівнобіжних атмосферної;
- розділити навпіл відстані між точками перетинань кожної лінії з кривою «стиск» і «розширення»;
- отримані точки з'єднати.

Відкорегувати положення покажчика ВМТ з урахуванням проведених випробувань.

Обробка індикаторної діаграми. На індикаторній діаграмі, рисунок 5, позначити такти робочого процесу, максимальний тиск при згорянні пального. Заповнити таблицю для визначення індикаторної роботи у циліндрі. В навчальних цілях дозволяється записувати значення тисків через 10-15 град о.к.в.

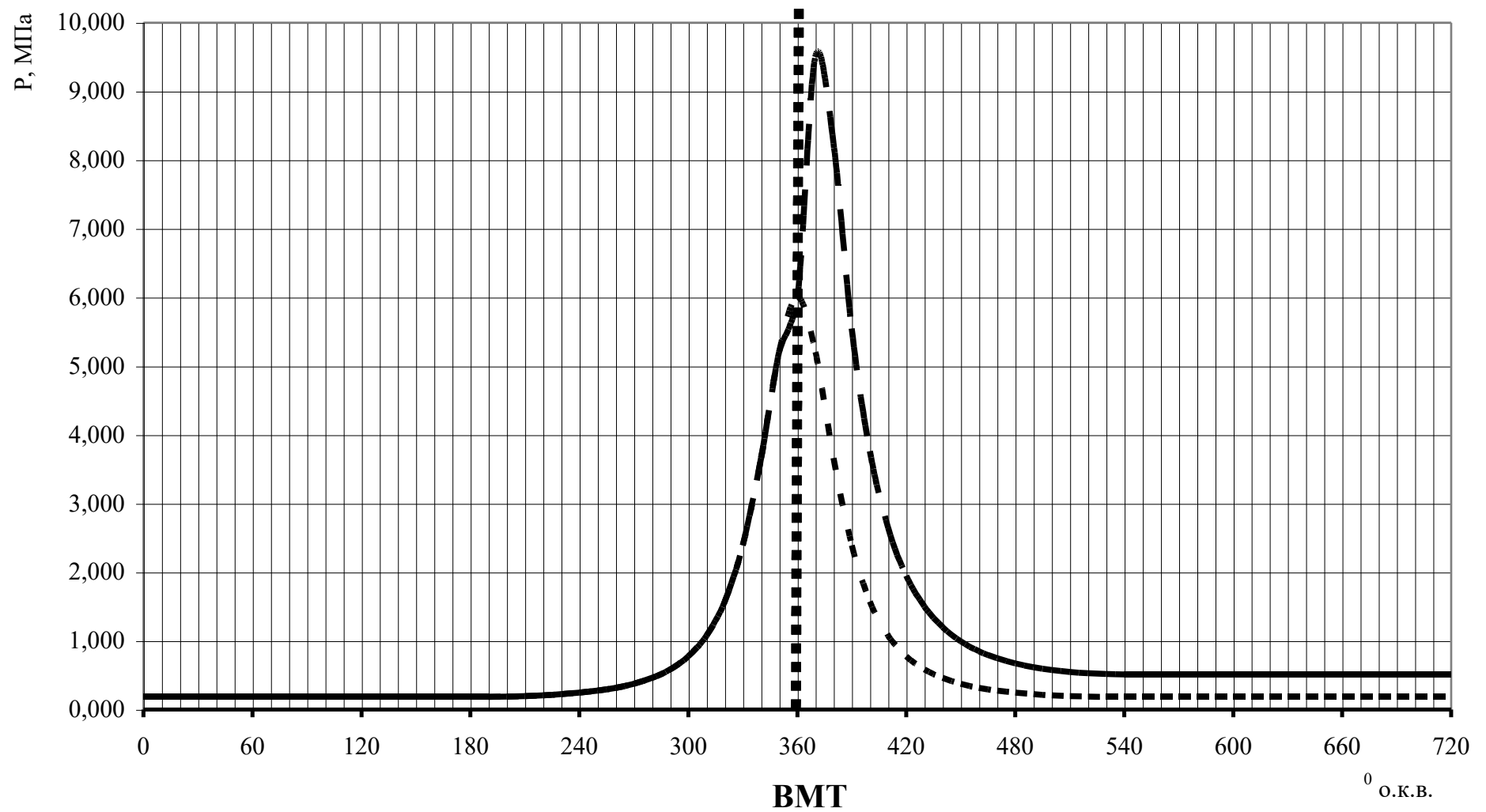


Рисунок 5 – Індикаторна діаграма

Таблиця – Визначення індикаторної роботи в циліндрі двигуна

ф, °О.К.В.		S, м	V, м ³	P, МПа	L _i , Дж	ф, °О.К.В.		S, м	V, м ³	P, МПа	L _i , Дж
СТИСК	1	2	3	4	5	ГОРІННЯ – РОЗШИРЕННЯ	1	2	3	4	5
	180	0,26	0,01500452	0,184	0		370	0,002465	0,001331235	9,500	1,0146334
	190	0,258515	0,014925677	0,185	-0,01456		380	0,009741	0,001717532	8,240	3,4264416
	200	0,254061	0,014689197	0,189	-0,04431		390	0,021479	0,002340755	5,544	4,2952562
	210	0,246646	0,014295506	0,197	-0,07601		400	0,037128	0,003171613	3,758	3,8643696
	220	0,2363	0,013746212	0,208	-0,11105		410	0,055974	0,004172158	2,646	3,2036292
	230	0,223098	0,0130453	0,223	-0,15098		420	0,077188	0,005298471	1,948	2,5872295
	240	0,207188	0,01220055	0,245	-0,19766		430	0,099886	0,006503627	1,499	2,0772805
	250	0,188812	0,011224927	0,275	-0,25338		440	0,123186	0,007740652	1,199	1,6689192
	260	0,168334	0,010137719	0,316	-0,32111		450	0,14625	0,008965201	0,994	1,3428843
	270	0,14625	0,008965201	0,375	-0,40487		460	0,168334	0,010137719	0,849	1,0804996
	280	0,123186	0,007740652	0,459	-0,51013		470	0,188812	0,011224927	0,745	0,8667999
	290	0,099886	0,006503627	0,583	-0,64443		480	0,207188	0,01220055	0,670	0,6904023
	300	0,077188	0,005298471	0,774	-0,81777		490	0,223098	0,0130453	0,615	0,5426953
	310	0,055974	0,004172158	1,076	-1,04190		500	0,2363	0,013746212	0,575	0,4170442
	320	0,037128	0,003171613	1,571	-1,32444		510	0,246646	0,014295506	0,547	0,3081627
	330	0,021479	0,002340755	2,389	-1,64536		520	0,254061	0,014689197	0,528	0,2116495
	340	0,009741	0,001717532	3,663	-1,88600		530	0,258515	0,014925677	0,518	0,1236583
	350	0,002465	0,001331235	5,206	-1,71309		540	0,26	0,01500452	0,510	0,0405081
	360	0	0,001200362	6,006	-0,73367	Разом L _{iΣ}					15,871256

Поточний об'єм циліндра, м³,

$$V_{\varphi} = V_c + F_{\Pi} S_{\varphi} \text{ ,}$$

де V_c – об'єм камери стиску, 0,0012 м³;

F_{Π} – площа поперечного перетину циліндра (площа поршня), м²,

$$F_{\Pi} = \frac{\pi D^2}{4} \text{ ,}$$

де D – діаметр циліндра, 0,26 м;

s – переміщення поршня від ВМТ, м;

$$S_{\varphi} = R \left[(1 - \cos \varphi) + \frac{1}{\lambda} (1 - \cos \beta) \right] \text{ ,}$$

де R – радіус кривошипа, 0,13, м;

λ – відношення радіуса кривошипа до довжини шатуна, 0,25.

Індикаторна робота, Дж,

$$L_{i\varphi} = \frac{P_{\varphi} + P_{\varphi+1}}{2} (V_{\varphi+1} - V_{\varphi}) = P_{сер} \times \Delta V \text{ ; } L_i = \Sigma L_{i\varphi} \text{ .}$$

Середній індикаторний тиск в циліндрі, МПа,

$$P_{ісер} = \frac{L_i}{V_h}$$

$$P_{ісер} = \frac{15,871256}{0,0138 \cdot 1000} = 1,15 \text{ .}$$

Індикаторна потужність двигуна, кВт,

$$N_i = \frac{P_i V_h z n}{0,03 \tau},$$
$$N_i = \frac{1,15 \cdot 0,0138 \cdot 8 \cdot 1000}{0,03 \cdot 4} = 1058.$$

Механічний ККД

$$\eta_i = N_e / N_i,$$
$$\eta_m = 880 / 1058 = 0,832.$$

Зміст звіту

Результати визначення ВМТ.

Індикаторна діаграма з відмітками.

Заповнена таблиця для визначення середнього індикаторного тиску.

Результати розрахунків параметрів робочого процесу.

Контрольні питання

1 Вплив правильності визначення ВМТ на точність обробки індикаторних діаграм.

2 Характерні точки діаграми $P-V$ чотиритактного дизеля.

3 Вкажіть такти робочого процесу.

Лабораторна робота 3

ПОБУДОВА КОЛОВОЇ ДІАГРАМИ ФАЗ ГАЗОРОЗПОДІЛУ І ВИЗНАЧЕННЯ ЗАГАЛЬНОГО КУТА ВИПЕРЕДЖЕННЯ ПОДАВАННЯ ПАЛЬНОГО ЧОТИРИТАКТНИМ ТЕПЛОВОЗНИМ ДИЗЕЛЕМ

Мета роботи: вивчити теоретичні положення про процеси впуску та випуску, а також методику визначення фаз газорозподілу, побудувати графік фаз газорозподілу.

Завдання

- 1 Визначити фази газорозподілу.
- 2 Побудувати колову діаграму.

Короткі теоретичні відомості

Фазами газорозподілу називають моменти відкриття та закриття клапанів (механізм газорозподілу), виражені в кутах повороту колінчастого вала двигуна [1, 2, 4 - 6].

Для кращого наповнення циліндра свіжою сумішшю та кращого очищення циліндра від відпрацьованих газів фази розподілу (моменти) початку і кінця кожного процесу дещо зсуваються відносно теоретичних, відповідних мертвих точок. Фази впускних клапанів сприяють кращому наповненню циліндрів, а випускних – найкращому очищенню циліндрів від газів, що відпрацювали. Процес наповнення чотиритактного двигуна складається із трьох періодів: випередження впуску, основного впуску та запізнення впуску (дозарядження).

Випередження впуску починається з моменту відкриття впускного клапана за 10...30 град кута повороту колінчастого вала (град о.к.в.) до приходу поршня у ВМТ і закінчується у ВМТ.

Основний впуск здійснюється під час руху поршня від ВМТ до НМТ такту наповнення. У цей період в циліндр надходить 85 %...90 % свіжого заряду. Запізнення впуску починається з моменту проходження поршнем НМТ і закінчується в момент закриття впускного клапана, 40...80 град о.к.в. після НМТ.

Процес випуску в чотиритактних двигунах починається з відкриття впускного клапана, за 40...67 град о.к.в. до приходу поршня в НМТ, і закінчується на момент закриття його, тобто через 10...30 град о.к.в. після приходу поршня у ВМТ. Отже, загальна тривалість процесу випуску становить 230...260 град о.к.в.

Випередження відкриття впускного клапана викликане прагненням зменшити витрати на виштовхування з циліндра відпрацьованих газів. Відпрацьовані гази мають значну кінетичну енергію, яку можна використовувати для повнішого очищення циліндрів шляхом закриття впускних клапанів із запізненням, вже на такті стиснення.

Щоб забезпечити оптимальне наповнення циліндра свіжим повітрям і здійснити продувку циліндра, впускний клапан починають відкривати завчасно – ще тоді, коли кривошип вала на кут A не дійшов до свого вертикального положення. Це випередження відкриття впускного клапана (точка $\varphi_{о.вп.}$) забезпечує повне відкриття клапана у ВМТ (рисунок 6).

Запізнювання закриття впускного клапана (кут B и точка $\varphi_{з.вп.}$) передбачають для того, щоб наприкінці ходу наповнення клапан був ще досить відкритий і забезпечував прохід повітря в циліндр за інерцією і у той момент, коли поршень почне рухатися до ВМТ.

Випередження відкриття впускного клапана (кут C и точка $\varphi_{оп.вип.}$) зменшує роботу на виштовхування газів, що відпрацювали, поршнем. Період очищення робочого циліндра розділяється на випуск газів при відкритому впускному клапані за рахунок їхнього надлишкового тиску і виштовхування газів поршнем при його русі від НМТ до ВМТ.

Випередження відкриття випускного клапана робиться таким, щоб випуск закінчився до приходу поршня в НМТ і виштовхування протікало з найменшим протитиском газів на поршень.

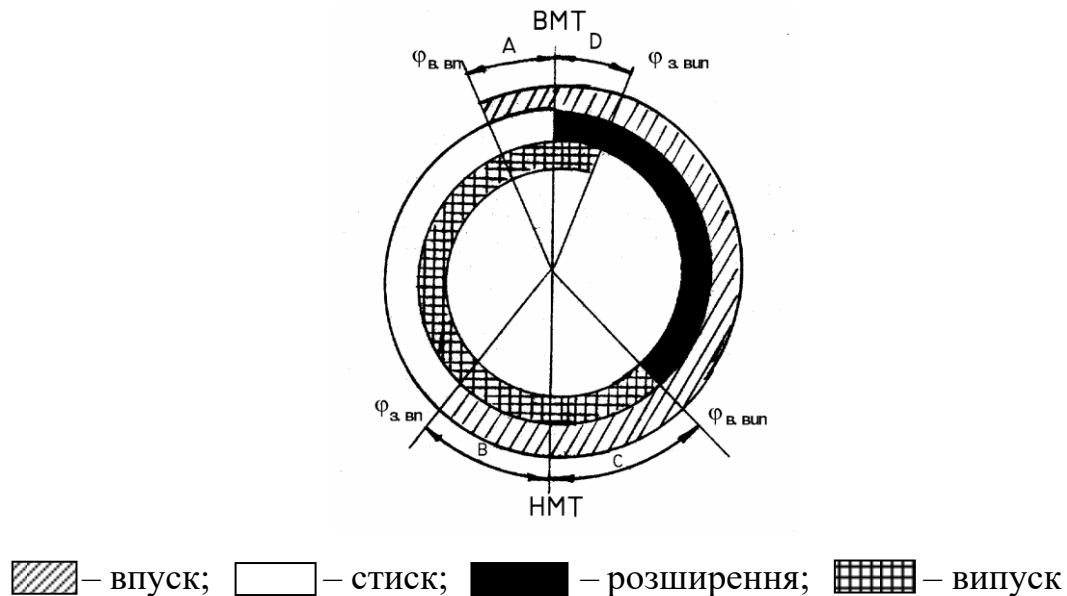


Рисунок 6 – Колова діаграма фаз газорозподілу

Запізнювання закриття випускного клапана (кут D и точка $\varphi_{з.вип.}$) забезпечує більш повне очищення циліндра від залишкових газів. Оскільки впускний клапан відкривається з випередженням (точка $\varphi_{о.вп.}$), а випускний закривається з запізнюванням (точка $\varphi_{з.вип.}$), то під час повороту кривошипа на дузі $\varphi_{з.вип.} - \varphi_{о.вп.}$ обидва клапани відкриті одночасно, що приводить до продувки циліндра і кращого очищення його від продуктів згоряння.

Двигун, що пройшов ПР-3 або КР, перевіряють на відповідність фаз «газорозподілу» установленим на заводі-виготовлювачі [2].

Перевірка і регулювання загального кута випередження подавання пального.

Від кута випередження впорскування пального в циліндр значною мірою залежить характер протікання робочого процесу і температура

деталей ЦПГ. Для дизеля 3А-6Д49 загальний кут випередження ПНВТ дорівнює 27 ° до ВМТ [2].

Неправильне встановлення кута випередження впорскування пального в градусах повороту колінчастого вала при ході плунжера насоса подавання пального може викликати ряд небажаних явищ. Якщо кут випередження подавання пального встановлюють більш раннім, ніж призначено, то збільшується тиск згоряння (неточність у 1 °о.к.в. дає зміну максимального тиску згоряння від 0,3 до 0,4 МПа), погіршення жорсткості роботи двигуна. У результаті знижується ресурс дизеля за рахунок зростання динамічних навантажень на деталі ЦПГ і підшипники колінчастого вала [5, 6].

При установленні більш пізнього кута початку подавання відбувається зменшення максимального тиску згоряння і жорсткості роботи двигуна, збільшується димність випуску, знижується економічність. Температура кришок циліндрів і поршня при зменшенні кута випередження подавання пального на 2-3 °о.к.в. щодо рекомендованого трохи зменшується, однак зростає температура випускних клапанів і деталей турбіни. В обох випадках пропорційно економічності змінюється потужність двигуна.

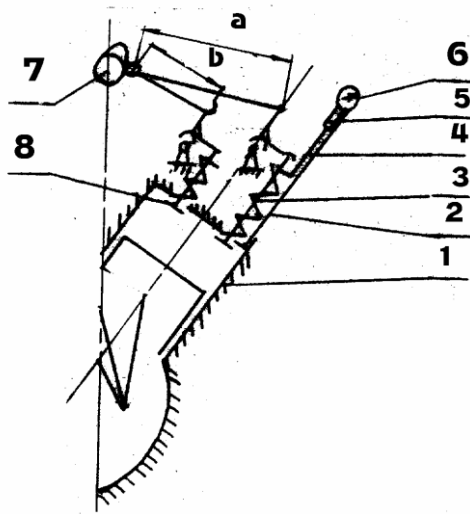
Порядок виконання роботи

Перевірка фаз газорозподілу. Для одержання вихідних даних, необхідних для побудови діаграми фаз газорозподілу, необхідно визначити положення колінчастого вала в моменти відкриття і закриття клапанів.

Лабораторну роботу виконують на стенді тепловозного двигуна 8ЧН 26/26, обладнаному диском, на який нанесені ділення за кутом повороту колінчастого вала. Диск стосовно покажчика ВМТ має бути

зорієнтований так, щоб нульове ділення відповідало положенню поршня досліджуваного циліндра у ВМТ.

Додатково на кришку досліджуваного циліндра двигуна монтують пристрій для визначення моменту відкриття і закриття клапанів. Пристрій являє собою кронштейн з укріпленням на ньому індикатором переміщень годинникового типу. Стійки кронштейна кріплять у гніздо болта кришки клапанної коробки так, щоб щуп індикатора спирався на верхню тарілку пружини клапана (як показано на кінематичній схемі, рисунок 7).



- 1 – досліджуваний циліндр; 2 – стійка; 3 – випускний клапан;
4 – щуп; 5 – тримач; 6 – індикатор; 7 – кулачок ; 8 – впускний клапан

Рисунок 7 – Кінематична схема газорозподільного механізму

Послідовність визначення фаз газорозподілу.

- 1 Відкрити індикаторні крани всіх циліндрів.
- 2 За допомогою валопроворотного механізму установити колінчастий вал у положення 270° – такту випуску.
- 3 Зняти кришку клапанної коробки досліджуваного циліндра.
- 4 Стійку 2 кріплення індикатора 6 установити на місці одного з болтів кріплення кришки клапанної коробки і зафіксувати контргайкою.

5 На стійку закріпити тримач 5 з індикатором 6 із таким розрахунком, щоб щуп 4 індикатора спирався на верхню тарілку впускного клапана 3. При цьому необхідно забезпечити можливість ходу щупа нагору на весь хід клапана.

6 Повільно, поштовхами повертати колінчастий вал до моменту торкання стрілки індикатора.

7 Фіксувати кут початку руху клапана.

8 Повернути на 10° о.к.в. і повторити вимір. Якщо результати двох вимірів збіглися, необхідно занести їх у журнал для лабораторних робіт; якщо розходяться – виміри повторити і вибрати середнє значення.

Таблиця – Результати вимірів

Клапан	$\Phi_{\text{ввп}}$		$\Phi_{\text{звп}}$		$\Phi_{\text{ввип}}$		$\Phi_{\text{звип}}$		$\Phi_{\text{п}}$	
Впускний	305	57 до ВМТ	209	28 після НМТ	-		-		333	-27
Випускний	-		-		122	59,5 до НМТ	42	40,5 після ВМТ		

9 Проворот колінчастого вала продовжити до посадки клапана на «сідло» і зафіксувати цей момент за зупинкою стрілки індикатора.

10 Проходження зазначеної ділянки повторити 2-3 рази і записати в журнал значення кута закриття клапана. Якщо отримані дані мають розбіжність з альбомними більш ніж на $4-5^\circ$ о.к.в., необхідно зробити регулювання фаз газорозподілу. Регулювання робити зміною довжин штовхальників «а» і «b» чи положенням кулачка.

Обробка результатів експерименту. Обробка отриманих результатів полягає в побудові колової діаграми фаз газорозподілу. Для цього на полі діаграми проводять вертикальну вісь ВМТ-НМТ, середину якої приймають за початок полярних координат. Поле діаграми ділять на 36 рівних частин із позначенням кутів у градусах. За початок діаграми фаз газорозподілу приймають кут початку відкриття впускного клапана. Побудова ведеться з

указівкою кутів φ_n початку або кінця φ_k тієї чи іншої фази і штрихуванням фаз, як показано на рисунку 6.

Перевірку загального кута випередження подавання пального роблять по першому циліндру в такій послідовності.

1 Перевіряють ВМТ першого правого циліндра.

2 Знімають перший правий паливний насос високого тиску і встановлюють замість нього пристрій, рисунок 8.

3 Валопроворотним механізмом провертають колінчастий вал за напрямком обертання доти, поки штовхальник пристрою стане на циліндричну частину паливної шайби.

4 Встановлюють індикатор пристосування з натягом 2-3 мм і «нуль» шкали індикатора сполучають зі стрілкою.

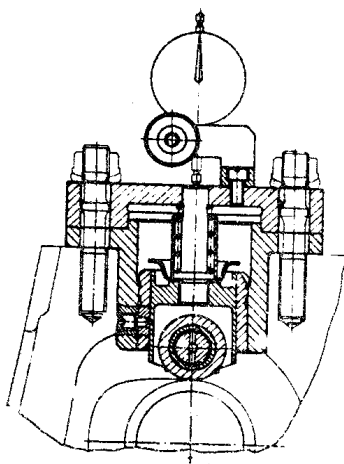


Рисунок 8 – Пристрій для визначення кута випередження подавання пального

5 Провертають колінчастий вал по напрямку обертання до підйому штовхальника пристрою (по шкалі індикатора), після чого припиняють обертання колінчастого вала. Це положення відповідає початку подавання пального, що визначається за числом градусів між стрілкою і міткою ВМТ циліндра, що перевіряється.

Порівнюючи отримане значення загального кута випередження подавання пального зі значенням, що наведено у формулярі дизеля, роблять висновок про необхідність регулювання (припустиме відхилення складає $\pm 0,5^\circ$ о.к.в.)

Зміст звіту

Результати вимірів.

Колова діаграма фаз газорозподілу.

Висновки про необхідність регулювання фаз газорозподілу та загального кута випередження впорскування пального.

Контрольні питання

1 Вплив правильності установок фаз газорозподілу на робочий процес ЕУРС.

2 Вплив зміни загального кута випередження подавання пального на робочий процес ЕУРС.

3 Що таке кут геометричного початку подавання пального?

4 Визначить значення «перекриття» клапанів?

Лабораторна робота 4

РЕГУЛЮВАННЯ І РОЗПОДІЛ ПОТУЖНОСТІ ПО ЦИЛІНДРАХ ТЕПЛОВОЗНОГО ДВИГУНА

Мета роботи: практичне ознайомлення з процесом регулювання розподілу потужності по циліндрах ЕУРС.

Завдання

- 1 Розглянути методи визначення навантаження циліндрів ЕУРС.
- 2 Розглянути методи та прилади для вимірювання максимального тиску у циліндрі двигуна та температури газів на виході з циліндра.
- 3 Розглянути методи регулювання потужності циліндрів.

Короткі теоретичні відомості

Двигун, що знаходиться в експлуатації, при номінальній частоті обертання колінчастого вала має розвивати номінальну потужність. Однак ця умова не може бути виконана при порушенні рівності потужності за окремими циліндрами. При цьому деякі циліндри будуть перевантажуватися за рахунок зниження потужності в інших циліндрах, умови роботи двигуна в цьому випадку погіршуються [1, 3, 4].

У циліндрах, що розвивають підвищену потужність, зростають тиск і температура газів. У результаті підвищується теплова напруженість поршня, кілець, клапанів і збільшується інтенсивність наростання зносу тертьових пар шатунно-поршневої групи. Зі зменшенням коефіцієнта надлишку повітря знижується індикаторний ККД робочого процесу в цих циліндрах і підвищується витрата повітря двигуном в цілому [2].

Методика регулювання потужності по циліндрах. Розподіл потужності по циліндрах можна визначити, знімаючи індикаторні діаграми з кожного циліндра. Зіставляючи їх, можна з достатньою точністю

визначити відхилення у величині роботи кожного з циліндрів щодо середнього значення для певного режиму роботи двигуна. За характером протікання процесів згоряння і розширення можна судити про причини, що викликали відхилення у величині роботи конкретного циліндра. Однак цей метод неприйнятний для заводських і депоєвських умов, тому що вимагає спеціального устаткування дизеля складними приладами, а також кваліфікованого персоналу. Тому в заводських і депоєвських умовах використовують більш простий метод оцінювання роботи циліндрів за непрямими ознаками [2, 3, 5].

Відомо, що впорскування пального здійснюється наприкінці такту стиску до приходу поршня в положення ВМТ. У тепловозних дизелях тривалість упорскування при номінальному режимі дорівнює приблизно 30 - 40° о.к.в. У зв'язку з тим, що до кінця періоду затримки запалення в циліндрі є розпилене паливо, процес горіння після запалення характеризується інтенсивним підвищенням тиску. Максимального значення тиск газів досягає в точці P_z , тобто на лінії розширення газів. Якщо змінити кут випередження подавання пального, то зміниться величина інтенсивності наростання тиску. Зі збільшенням кута випередження крутість діаграми буде зростати, і збільшиться тиск P_z . Зі зменшенням кута, тобто при пізньому подаванні, діаграма горіння стає більш положистою, а тиск P_z зменшиться. Зміна кута випередження робить настільки закономірний вплив на криву згоряння і тиск P_z у зв'язку з тим, що в цьому випадку зміняться як момент початку горіння, так і період затримки запалення пального, а отже, і кількість поданого пального, що накопичується в циліндрі до моменту запалення. Чим більше кут випередження, тим триваліший період затримки запалення і більше пального накопичується в циліндрі. Зі зменшенням кута випередження скорочується тривалість періоду затримки запалення і, відповідно, знижується кількість одночасно займистого пального.

Отже, якщо величини максимальних тисків у кожному циліндрі при заданому режимі роботи двигуна рівні, то можна стверджувати, що періоди затримки запалення мають однакову тривалість, і інтенсивність підвищення тиску у всіх циліндрах ідентична. Якщо розглянути в трохи спрощеному виді індикаторну діаграму в осях $P-V$ (рисунок 9), то можна з достатньою точністю затверджувати, що в цьому випадку ступінь підвищення тиску у всіх циліндрах однакова і, отже, протікання процесу згоряння також ідентично.

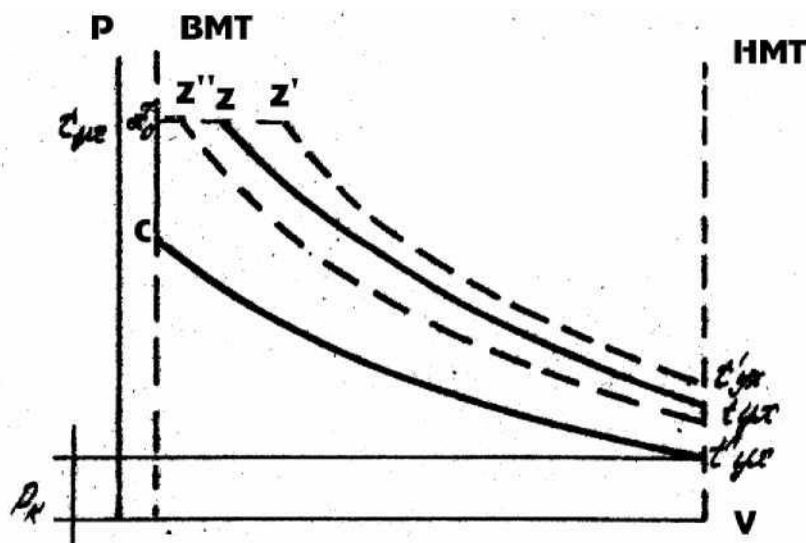


Рисунок 9 – Вплив зміни закінчення подавання пального на температуру газів

Якщо визначені на цьому двигуні максимальні тиски згоряння виявилися неоднаковими, те неважко установити їх рівними, змінюючи кут випередження подавання пального. Коли потрібно підвищити тиск, кут випередження збільшують, а для зниження максимального тиску кут випередження зменшують. Практично при регулюванні двигунів важко домогтися повного вирівнювання тисків P_z .

Для кожного типу двигунів заводською інструкцією і «Правилами проведення поточних і заводських ремонтів» установлені граничні

відхилення в значеннях найбільшого і найменшого тиску P_z . Наприклад, для двигунів типу 10Д100 і Д49 ΔP_z не має перевищувати 0,8 МПа.

Зі збільшенням кута – випередження впорскування пального, зростає інтенсивність наростання тиску, тобто збільшується жорсткість роботи двигуна, що викликає появу небезпечних напружень і підвищений знос тертьових пар шатунно-поршневої групи. Тому «Правила ремонтів» встановлюють максимальні граничні значення P_z , що характеризують для певного двигуна максимально припустимі значення жорсткості його роботи. Рівність тисків згоряння по циліндрах певного двигуна є необхідною, але недостатньою ознакою рівності потужностей у циліндрах. Це пояснюють так. Подавання пального в циліндр продовжується і після запалення. Припустимо, що в одному з циліндрів подавання пального закінчилось раніше, ніж в інших циліндрах, тобто голка форсунки сіла на сідло раніш. У цей циліндр буде подано менше пального, ніж в інші. За допомогою спрощеної діаграми, показаної на рисунку 9, неважко переконатися, що процес згоряння при $P=\text{const}$ закінчиться раніше, ніж в інших циліндрах точка (z''), і лінія розширення пройде нижче відповідних ліній інших циліндрів. Температура газів, що $t''_{\text{вих}}$ виходять, з цього циліндра буде нижче $t_{\text{вих}}$ величини – для інших циліндрів.

Якщо в якому-небудь циліндрі голка форсунки закрий розпилювач пізніше, то лінія розширення піде вище відповідних ліній для інших циліндрів, і температура вихлопних газів виявиться вище. Отже, якщо виміряти $t_{\text{вих}}$ кожного циліндра, то за різницею цих величин можна судити про розбіжність точок кінця згоряння і взаємному зсуву ліній розширення, викликаному нерівністю циклових подавань по циліндрах. Якщо ж температури $t_{\text{вих}}$ не будуть рівні, то при знижених значеннях $t_{\text{вих}}$ необхідно збільшити подавання пального в цей циліндр, а при підвищених – зменшити. На практиці при регулюванні двигуна важко домогтися повного збігу температур газів, що виходять з циліндра. Для кожного типу

тепловозних дизелів заводською інструкцією і Правилами заводського і депоовського ремонтів установлені граничні відхилення у значеннях найбільшої і найменшої температур. Для двигунів типу Д49, наприклад 1А-5Д49, 17ПДГ (відповідно 16 і 8ЧН 26/26), ця величина $t_{вих}$ на номінальному режимі при стандартних атмосферних умовах не має перевищувати 580 °С, а різниця температур по циліндрах $\Delta t_{вих}$ – не більш 100 °С [2].

Застосовувані прибори і методика вимірів. Величину P_z вимірюють за допомогою максиметра. Основною частиною цього прибору є манометр 6 (рисунок 10) зі шкалою. У каналі, що підводить газу, є безповоротний клапан, голчастий вентиль, дросель. За допомогою накидної гайки максиметр надягають на штуцер індикаторного крана двигуна, для вимірювання максимального тиску згоряння необхідно закрити вентиль і відкрити індикаторний кран. Завдяки безповоротному клапану в трубці манометра установиться тиск, рівний максимальному тиску згоряння (за період вимірювання).

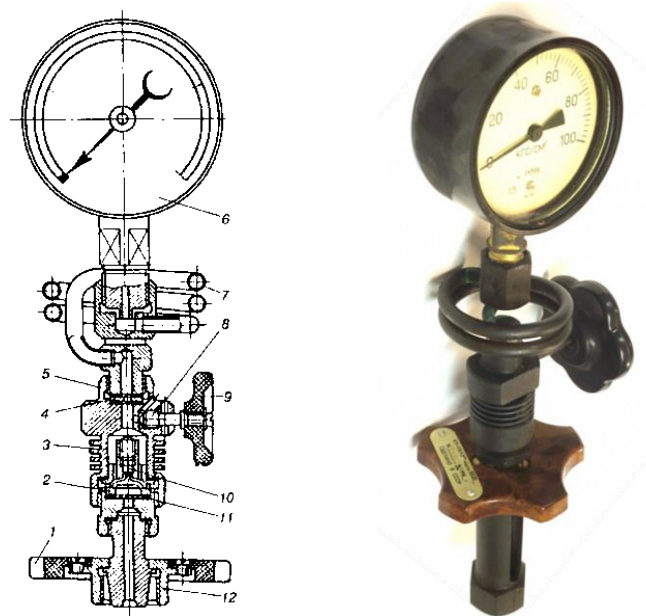
Перед зняттям максиметра необхідно перекрити індикаторний кран і, відкривши вентиль, видалити газу з трубки манометра.

Вимірюють $t_{вих}$ за допомогою спеціальної термометричної установки (ТКД – термокомплект дизельний), рисунок 11.

Порядок виконання роботи

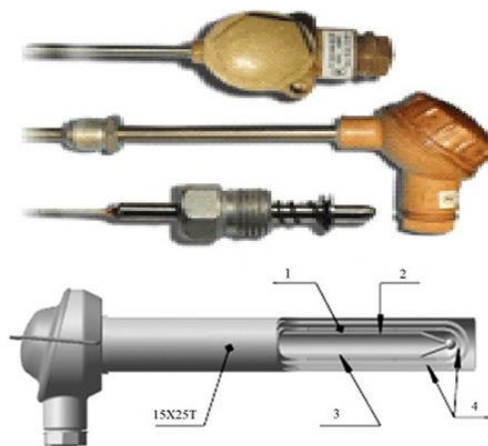
Роботу з перевірки регулювання і розподілу потужності по циліндрах виконують в такій послідовності.

- 1 Запустити дизель і при невеликому навантаженні прогріти його.
- 2 При досягненні температури оливи 40 °С и води 55 °С за допомогою реостата регулювання збудження генератора, при номінальній частоті обертання, установити необхідне навантаження.



1 – маховик; 2 – сідло клапана; 3 – регулювальний гвинт; 4 – дросельна шайба; 5 – корпус; 6 – манометр; 7 – компенсатор; 8 – голчастий клапан; 9 – маховик; 10 – безповоротний клапан; 11 – фільтр; 12 – накидна гайка

Рисунок 10 – Схема та загальний вигляд максиметра



1 – керамічні ізолятори; 2 – хромель; 3 – алюмель; 4 – кераміка

Рисунок 11 – Термопара для вимірювання температури газів

3 При цьому режимі дизелю необхідно проробити до стабілізації температур води і оливи. Ознакою виходу дизеля на тривалий режим є незмінність температур вихлопних газів, виміряних за допомогою ТКД.

4 Максиметром визначити тиск газів у кожному циліндрі, вимірюючи температури $t_{вих.}$ до і після виміру P_z .

5 Якщо в процесі вимірів рівень температур не змінився, то вважають, що режим роботи дизеля залишався постійним.

Якщо відхилення в значеннях P_z і $t_{вих.}$ не виходять за межі величин, що допускаються «Правилами ремонтів», двигун вважається відрегульованим і допускається до експлуатації. При розходженні в P_z понад значень, що допускаються, регулюють кути випередження подавання пального. При розходженні у $t_{вих.}$ регулюють циклове подавання пального.

Отримані дані P_z і $t_{вих.}$ по циліндрах записати у відповідну таблицю випробувань.

Таблиця – Результати вимірів

№, кВт	Сторона дизеля	Параметри дизеля	Вимір	Регулювання	Вимір	Регулювання	Вимір	Регулювання	Вимір	Регулювання
890	Права	P_z	9,2	-	9,0	-	9,8	-1	8,9	-
		$t_{вих.}$	580	-	550	-	540	-	520	-
	Ліва	P_z	9,1	-	8,7	+1	8,9	-	8,0	+2
		$t_{вих.}$	600	+4	480	-5	530	-	570	-
	Номер циліндра		1		2		3		4	

Висновки. 1 Необхідно регулювання P_z в 2 та 4 циліндрах лівої сторони, та 3 циліндрі правої сторони.

2 Необхідно регулювання $t_{вих.}$ в 1 та 2 циліндрі лівої сторони.

У випадку, якщо невідповідність P_z і $t_{вих.}$ по циліндрах перевищує припустимі норми для цього двигуна – зробити регулювання.

На двигуні 8ЧН26/26 регулюють P_z за допомогою болта штовхальника паливного насоса. Вигвинчування болта на одну грань призводить до збільшення P_z приблизно на 0,4 МПа.

Регулюють температуру $t_{вих.}$ переміщенням гайки рейки паливного насоса. Вигвинчування гайки на одну грань викликає збільшення $t_{вих.}$ на 5 – 10 °С.

6 Після регулювання вдруге зняти всі показники.

7 Зробити порівняння результатів першого і другого експериментів і зробити остаточний висновок про відповідність технічним вимогам.

Зміст звіту

Методика регулювання потужності по циліндрах.

Схеми максиметра та термопари.

Результати вимірювань P_z та $t_{вих.}$.

Висновки про необхідність регулювань.

Контрольні питання

1 Технологія вимірювання та регулювання дизеля по P_z .

2 Технологія вимірювання та регулювання дизеля по $t_{вих.}$.

3 На яких видах ТО та ПР проводять регулювання потужності?

Лабораторна робота 5

ЗНЯТТЯ НАВАНТАЖУВАЛЬНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ РУХОМОГО СКЛАДУ

Мета роботи: експериментальне підтвердження теоретичних положень про характер зміни основних параметрів двигуна за характеристикою навантаження. Отримання практичних навичок з випробування двигуна внутрішнього згоряння та обробці експериментальних даних.

Завдання

- 1 Розглянути види характеристик ЕУРС та умови їх одержання.
- 2 Розглянути методику «зняття» навантажувальної характеристики.
- 3 Побудувати навантажувальну характеристику.

Короткі теоретичні відомості

Двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) автономного рухомого складу мають забезпечувати роботу енергетичної установки на змінних режимах у широкому діапазоні від холостого ходу до номінальної потужності при частоті обертання колінчастого вала двигуна, що змінюється. Характеристиками ДВЗ називають залежності між різними параметрами двигуна на заданих режимах роботи [1, 3 - 6].

Основними величинами, що характеризують ДВЗ як джерело енергії є: ефективна потужність P_e та частота обертання n . У цій системі координат (рисунк 12) подано низку характеристик.

Залежності показників роботи двигуна від частоти обертання колінчастого вала при постійному цикловому подаванні пального називаються швидкісними характеристиками [1]. Однією з таких характеристик є залежність $P_e = f(n)$. Межами зміни частоти обертання вала є $n_{\min}$ та $n_{\text{ном}}$, тобто мінімальна та номінальна частота обертання.

На тепловозах із електричною передачею залежність $P_e=f(n)$ називається генераторною характеристикою. На рисунку 12 вона позначена лінією 1. У точці А при номінальній частоті обертання $n_{\text{ном}}$ показана величина номінальної потужності $P_{\text{еном}}$. У точці В досягається максимальна потужність при максимальній частоті обертання вала n_{max} . Регулювання необхідної потужності ДВЗ при заданій частоті обертання вала проводять за рахунок зміни подавання пального.

Швидкісна характеристика, що реалізується при постійному становищі органа управління подавання пального, що відповідає номінальній потужності, називається зовнішньою характеристикою (крива 2). Пунктиром позначено криву часткової зовнішньої характеристики (лінія 2'), яка здійснюється за відповідного постійного подавання пального, але меншою порівняно з номінальною.

При роботі дизеля з гідروпередачею вид швидкісної характеристики визначається наявністю гідротрансформатора чи гідромумфти. Коли двигун передає потужність через гідротрансформатор, характеристика має вигляд кривої 3. Така характеристика називається гвинтовою. При цьому потужність змінюється за законом кубічної параболи: $P_e=Cn^3$, де $C=\text{const}$.

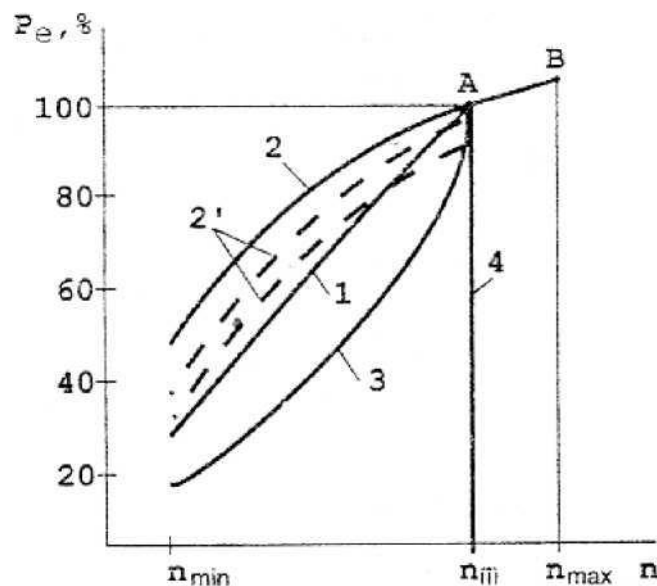


Рисунок 12 – Характеристики ЕУРС

Якщо під час роботи двигуна з гідروпередачею потужність передається через гідромфту, то двигун працює за зовнішньою характеристикою або по часткових характеристикам, що визначаються положенням контролера машиніста. Таку ж характеристику матиме двигун з механічною передачею (редуктором).

Умови роботи двигуна можуть вимагати зміни потужності при постійній величині частоти обертання колінчастого вала. Такі характеристики звуть навантажувальними [4, 5, 7]. На рисунку 12 таку характеристику зображено лінією 4.

Для оцінки техніко-економічних показників дизеля при роботі на перемінних за ефективною потужністю N_e та частоті обертання режимах використовують універсальні багатопараметрові характеристики, що зв'язують три величини – N_e , n_d , g_e (питома ефективна витрата пального).

Економічною характеристикою називають таку характеристику двигуна, при роботі за якою досягається мінімальна для всіх частот обертання колінчастого вала питома ефективна витрата пального. Зі зниженням потужності відбувається різке підвищення питомої витрати пального чи зниження ефективного ККД [6].

Для побудови універсальної характеристики необхідно мати серію навантажувальних чи швидкісних характеристик. Навантажувальну характеристику знімають за умови $n_d \text{ const}$, а швидкісну – при незмінному положенні рейки паливного насоса.

В умовах депо і заводів універсальну характеристику більш просто одержати по серії навантажувальних, установлюючи рукоятку контролера в різні положення і змінюючи навантаження від генератора на дизель.

Порядок виконання роботи

Дизель 3А-6Д49 призначений для установки найчастіше на маневрові тепловози. Діапазон частоти обертання колінчастого вала розбитий на вісім позицій за тепловозною характеристикою. Кожній позиції відповідає певна потужність дизеля. У таблиці 1 показано зразковий розподіл частоти обертання і потужності дизеля за позиціями контролера машиніста.

Таблиця 1 – Розподіл частоти обертання колінчастого вала та потужності дизеля за позиціями контролера (тепловозна характеристика)

Позиція контролера	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Частота обертання, хв^{-1} *	400	485	570	655	740	825	910	1000
Потужність, кВт	65	175	290	405	520	635	750	880
* Припустиме відхилення $\pm 10 \text{ хв}^{-1}$								

Для побудови навантажувальних характеристик необхідно змінювати режими роботи дизеля в межах поля регулювання на різних позиціях контролера. На тепловозі з електричною передачею дизель навантажується генератором, і тому для зміни потужності дизеля на обраній позиції контролера в колі збудження генератора дизеля 8ЧН26/26 установлені реостати. За допомогою реостатів регулюють силу струму збудження а отже, і потужність дизеля. Отже, змінюючи збудження головного генератора, можна забезпечити роботу дизеля по навантажувальній характеристиці.

Виконують лабораторну роботу за таким порядком.

1 Перед пуском дизеля необхідно виконати роботи, передбачені інструкцією «Підготовка дизеля до пуску» залежно від часу зупинки,

протягом якого дизель не працював. Запуск проводять при температурі оливи в дизелі не нижче $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$, води – не нижче $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$. У випадку більш низьких температур воду, оливу і пальне перед пуском необхідно підігріти.

Мінімальне число обертів дизеля, необхідне для пуску при зазначених температурах – не нижче 100 хв^{-1} .

Категорично забороняється запускати дизель із виключеним аварійним захистом і не підключеними приборами захисту.

Запускаючи холодний дизель, прогрів його до температури оливи і води не нижче $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ здійснюють при роботі дизеля під навантаженням не вище другої позиції рукоятки контролера. При досягненні температури води та оливи $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ оберти дизеля і навантаження можуть бути збільшені до шостої позиції рукоятки контролера і при досягненні нормальної температури води ($75\text{--}90\text{ }^{\circ}\text{C}$) та оливи ($70\text{--}80\text{ }^{\circ}\text{C}$) – до восьмої позиції.

2 Після прогріву дизеля рукоятку контролера встановлюють на першу позицію і після стабілізації показників вимірюють температуру води і оливи, повітря в ресивері, газів перед турбіною і в циліндрі штатними приборами.

За допомогою штатних манометрів вимірюють тиск газів перед турбіною, у ресивері, максимальний тиск згоряння. Вимірюють також частоту обертання колінчастого вала дизеля, ротора турбокомпресора, витрату пального і потужність.

Змінюючи за допомогою реостатів у колі збудження генератора навантаження, визначають необхідні для побудови навантажувальних характеристик параметри дизеля. Контролюють роботу дизеля по навантажувальній характеристиці за тахометром, установленим на торці двигуна.

3 Наступні досліді роблять на інших ПК. Випробування закінчують після проведення дослідів на останній ПК і досягнення на ній параметрів

номінального режиму. Параметри роботи двигуна заносять у журнал лабораторних робіт.

Таблиця – Результати вимірів

N_e , кВт	P_z , МПа	$\eta_e \cdot 10$	g_e , г/кВт*год	$P_s \cdot 100$, МПа	t_s , °C	t_r , °C	n , хВ ⁻¹
80	3,0	2,6	320	10,59	40	200	1000
280	4,87	3,3	258,3	13,26	45	362	
480	6,45	3,9	217,9	15,78	50	470	
680	8,0	4,2	200	18,08	55	539	
880	9,5	4,15	204	20	60	580	

Методика обробки результатів випробувань. Знаючи режимні параметри генератора, визначити N_e дизеля, кВт.

У загальному вигляді потужність дизеля, кВт,

$$N_e = \frac{P_r}{\eta_r} + \sum N_{доп.} ,$$

де $\sum N_{доп.}$ – витрати потужності на допоміжне обладнання.

З огляду на специфіку роботи дизель-генераторної установки в тепловозній лабораторії (відсутність привода вентилятора, компресора тощо), можна рахувати

$$N_e = \frac{P_r}{\eta_r} .$$

Характеристики приборів необхідних для вимірів наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Характеристики приборів для вимірів

Вимірюваний параметр	Найменування прибору	Межі виміру	Клас точності	Примітка
1 Навантаження генератора	Вольтметр. Амперметр			
2 Витрата пального	Ваги підйомні. Секундомір	0-10 кг ціна ділення 0,1 с	$\pm 0,5\%$ 2, 5	
3 Температура води й оливи	Електротермометр	0-120 °C		Допускається вимірювати ртутним термометром з ціною ділення 1 °C
4 Температура випускних газів	Термоелектричний дизельний комплект ТКД з термопарами	0-900 °C	2, 5	
5 Температура навколишнього середовища	Термометр ртутний	0-100 °C	1,0	З ціною ділення 1 °C
6 Барометричний тиск	Барометр-анероїд			Допускається одержання відомостей із метеостанції
7 Число обертів колінчастого вала	Тахометр годинникового типу	0-10000 хв ⁻¹	1, 0	Ціна ділення 10 хв ⁻¹
8 Тиск пального та оливи	Манометр	0-1,6 МПа	2, 5	
9 Розрядження в картері	U-подібний водяний манометр	0-500 мм		Ціна ділення 1 мм

Навантаження двигуна визначають за показниками вольтметра та амперметра (рисунк 13), витрату пального ваговим способом за допомогою секундоміра (рисунк 14), число обертів колінчастого вала вимірюють за допомогою тахометра годинникового типу, температуру води та оливи – за показниками електротермометрів, а тиск – за показниками електроманометрів.

Навантаження двигуна на режимі, кВт,

$$N_e = \frac{U_r \cdot I_r}{\eta_r \cdot 10^3},$$

де U_r – напруга генератора на режимі, В;

I_{Γ} – струм генератора на режимі, А;

η_{Γ} – ККД генератора, приймають рівним 0,94.

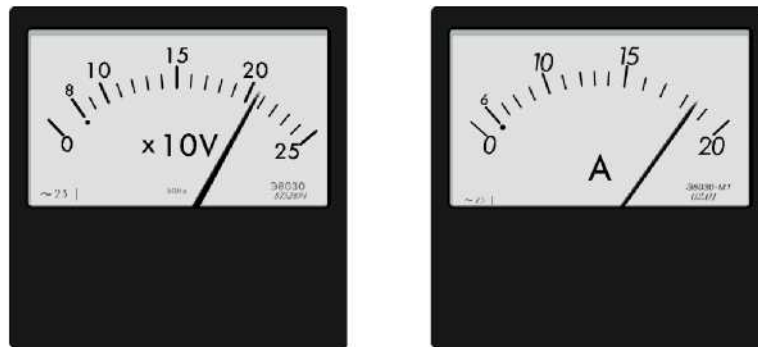
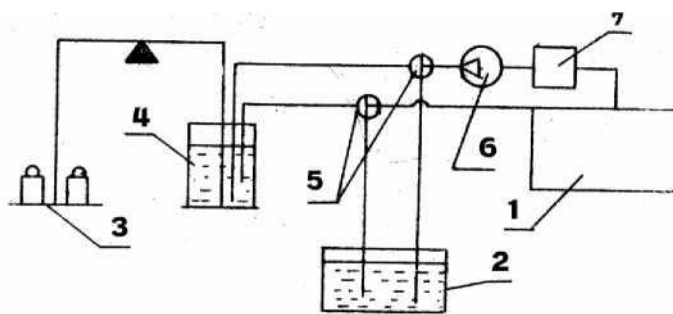


Рисунок 13 – Прибори для вимірювання навантаження генератора



1 – дизель; 2 – основний паливний бак; 3 – ваги; 4 – мірний бак;
5 – триходові крани; 6 – насос паливний; 7 – фільтр

Рисунок 14 – Схема вимірювання витрати пального

Питома ефективна витрата пального, г/кВт·год,

$$g_e = \frac{3,6 \cdot g_n}{N_e \cdot \tau} \cdot 10^3,$$

де g_n – тарована кількість пального, кг;

τ – час витрати g_n , с.

Значення ефективного ККД

$$\eta_e = \frac{3600}{g_e \cdot H_u},$$

де $H_u = 42500$ кДж/кг.

Зміст звіту

Способи і схеми вимірювання витрати пального двигуном.

Способи і схеми визначення навантаження двигуна.

Розрахунок питомої витрати пального.

Таблиця всіх вимірів.

За отриманими при випробуваннях двигуна даними і результатами розрахунку будують графіки залежностей g_e , t_s , P_T , t_T , α , η_v , P_s , G_s у функції N_e (рисунок 15).

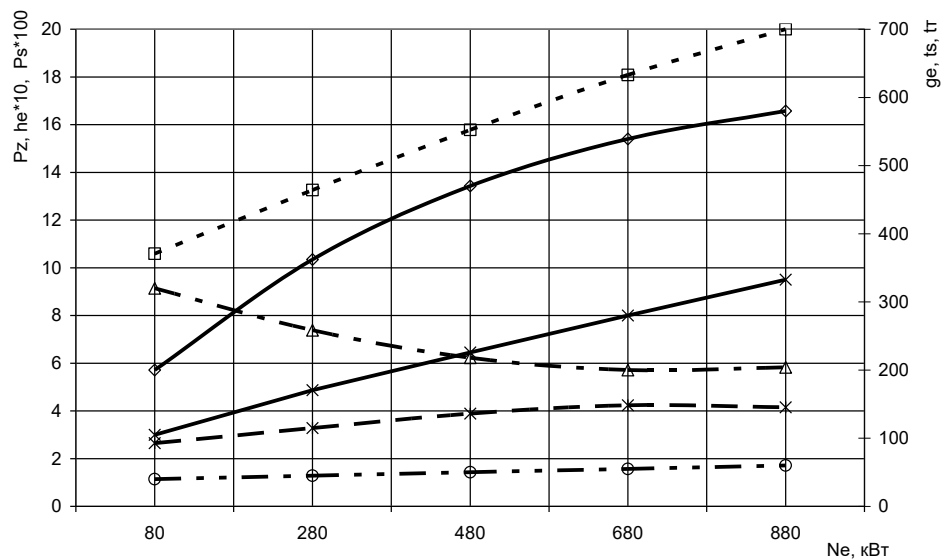


Рисунок 15 – Навантажувальна характеристика

дизеля 6А-5Д49, $n=1000 \text{ хв}^{-1}$

Контрольні питання

- 1 Які типи характеристик ДВЗ ви знаєте?
- 2 Що називають навантажувальною характеристикою?
- 3 Який параметр незмінний щодо навантажувальної характеристики?
- 4 Який параметр незмінний щодо зовнішньої характеристики?
- 5 За якими характеристиками працюють дизелі із приводом на гідротрансформатор, гідромуфту?
- 6 Яка характеристика називається генераторною (тепловозною)?
- 7 Що називається ефективною потужністю?
- 8 Як експериментально знайти питому ефективну витрату пального?
- 9 Що називають ефективним коефіцієнтом корисної дії?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Автомобільні двигуни: підручник / Ф. І. Абрамчук, Ю. Ф. Гутаревич, К. Є. Долганов, І. І. Тимченко. Київ : Арістей, 2006. 476 с.
- 2 Головка В. Ф. Енергетичне обладнання рухомого складу залізниць: навч. посіб. Харків: ПП видавництва «Нове слово», 2003. 256 с.
- 3 Захарчук В. І. Основи теорії та конструкції автомобільних двигунів: навч. посіб. для студ. ВНЗ. Луцьк : ЛНТУ, 2011. 233 с.
- 4 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 / за ред. А. П. Марченка та А. Ф. Шеховцова. Харків: Видавн. центр НТУ «ХП», 2004. 493 с.
- 5 Марченко А. П., Рязанцев М. К., Шеховцов А. Ф. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т. 2. Доводка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин / за ред. А. П. Марченка та А. Ф. Шеховцова. Харків: Прапор, 2004. 367 с.
- 6 Марченко А. П., Рязанцев М. К., Шеховцов А. Ф. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т. 3. Комп'ютерні системи керування ДВЗ / за ред. А. П. Марченка та А. Ф. Шеховцова. Харків: Прапор, 2005. 344 с.
- 7 Марченко А. П., Парсаданов І. В., Товажнянський Л. Л., Шеховцов А. Ф. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т. 5. Екологізація ДВЗ / за ред. А. П. Марченка. Харків : Видавн. центр НТУ «ХП», 2014. Вид. 2-ге. 368 с.

ВИПРОБУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК
РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт

із дисципліни
*«ЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ
РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ»*

Відповідальний за випуск Жалкін Д. С.

Редактор Ібрагімова Н. В.

Підписано до друку 18.07.2025 р.
Умовн. друк. арк. 3,0. Тираж . Замовлення № .
Видавець та виготовлювач Український державний університет залізничного
транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018